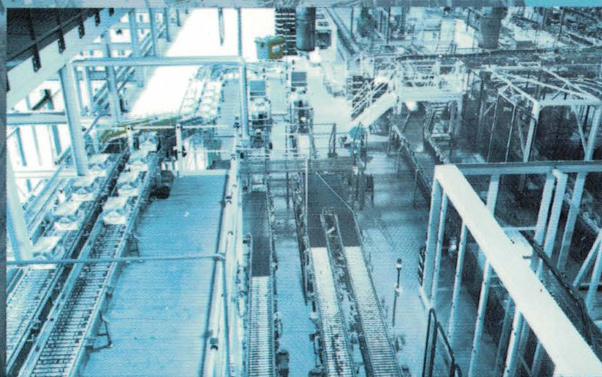
新编电气控制与PLC应用技术

高安邦　智淑亚　董泽斯　主编



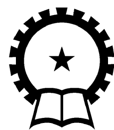
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

新编电气控制与 PLC 应用技术

高安邦　智淑亚　董泽斯　主编
褚雪莲　韩维民　崔　冰　参编
田　敏　石　磊　张晓辉　主审



机 械 工 业 出 版 社

本书根据教育部“卓越工程师培养计划”的要求，从凸现行业指导、校企合作、工学结合、学用一致，理论密切联系生产实际、“教、学、做”一体化的现代教学特色，注重对大学生进行素质和技能培养与提高，以西门子的 S7-200 PLC 为对象，详尽介绍了电气控制与 PLC 应用技术。全书共分 7 章：第 1 章电气控制中常用的低压电器；第 2 章电气传动控制中最常用的三相交流异步电动机；第 3 章传统电气控制的基本环节与典型电路；第 4 章现代电气控制中的 PLC 应用技术；第 5 章典型生产设备电气和 PLC 控制系统分析；第 6 章生产设备的电气和 PLC 控制系统设计；第 7 章电气与 PLC 控制实验与课程设计指导。

本书可作为普通高等院校电气自动化、电气工程、信息工程、机械设计制造及自动化专业等相关专业本、专科教材，也可作为各类培训班和工程技术人员的培训用书。

图书在版编目（CIP）数据

新编电气控制与 PLC 应用技术/高安邦，智淑亚，董泽斯主编. —北京：机械工业出版社，2012. 12

ISBN 978 -7 -111 -40269 -5

Ⅰ. ①新…　Ⅱ. ①高…②智…③董…　Ⅲ. ①电气控制 - 高等学校 - 教材②plc 技术 - 高等学校 - 教材　Ⅳ. ①TM571. 2②TM571. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 261922 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：时　静　责任编辑：时　静　张　博
版式设计：闫玥红　责任校对：李锦莉　程俊巧
责任印制：张　楠
北京京丰印刷厂印刷
2013 年 1 月第 1 版 · 第 1 次印刷
184mm × 260mm · 29 印张 · 718 千字
0 001—3 500 册
标准书号：ISBN 978 -7 -111 -40269 -5
定价：69. 90 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
社服务中心：(010)88361066	教 材 网：http://www.cmpedu.com
销 售 一 部：(010)68326294	机工官网：http://www.cmpbook.com
销 售 二 部：(010)88379649	机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：(010)88379203	**封面无防伪标均为盗版**

序

百年风雨沧桑，百年磨砺奋进。我国的电气工程及其自动化专业从传统的“电力工程”逐渐发展成包括“强电”和“弱电”（甚至包括计算机专业）庞大的“电”类专业群，成为工科专业中学生人数最多、也是最受学生欢迎和喜爱的热门紧俏专业。从国家领导人到两院院士，从学术带头人到普通工程师，从两弹一星到嫦娥奔月，从三峡平湖到西电东送到处活跃着电气技术工作者的身影。百年积淀，再铸辉煌，携手扬帆新百年，目前我国的“电气工程”正在向着“弱电”控制“强电”，机（机械装备）、电（电气控制）、液（液压气动）、仪（仪器仪表）、光（光学）、计（机算机应用）等多学科交叉融合的方向快速发展。

按照国家最新颁布的学科和专业对照表，以机械装备为主体、以电气控制和计算机应用为技术核心的“机电一体化技术（C580201）”已被排在“自动化类学科（C5802）”九大专业的第一位，受到各高校以及学生们的青睐。

在2011年“十二五规划”的开局之年，教育部又提出了“卓越工程师教育培养计划”，要在全国工科院校的本科生、硕士研究生、博士研究生三个层次上，大力培养现场工程师、设计开发工程师和研究型工程师等多种类型的工程师后备人才。

要发展我国的电气自动化技术，起动和实施“卓越计划”，就需要打造出一套学以所用、学以致用、学以能用、学以好用的高水平专业新教材。

“电气控制与PLC应用技术”正是综合了生产设备、电气控制和PLC应用技术的一门新兴课程，是实现机械加工、工业生产、科学研究以及其他各个领域自动化的重要技术之一，它是机械电子工程（机电一体化）、机械设计制造及其自动化、电气工程、电气自动化等专业的一门最重要的专业课，应用特别广泛。该新兴技术教学的目的无疑就是使学生掌握典型机床加工设备的机械结构组成、生产工艺过程、对电气控制的要求以及传统机电设备电气控制特点，并了解传统机电技术上的落后，从而采用先进的PLC技术加以改造和研发创新；这是一门工学结合、学用一致、理论紧密联系生产实际，能有效培养学生分析和解决生产实际问题的工程实践创新能力和综合素质、铸造“卓越工程师”的实用技术。

本书根据教育部“卓越工程师培养计划”的要求，从凸现行业指导、校企合作、工学结合、学用一致，理论密切联系生产实际、“教、学、做”一体化的现代教学特色，注重对大学生进行素质和技能培养与提高，以西门子的S7-200系列PLC为对象，详尽介绍了机电设备的电气控制与PLC应用技术。本书以生产设备为主体，将生产设备的电气控制技术和PLC应用技术的内容融会贯通编写在一起，能够更好地体现出它们之间的内在联系，使本书的结构和理论基础系统化，并更具有科学性和先进性。本书注意精选内容，结合实际、突出应用，注重实例。在编排上循序渐进、由浅入深；在内容阐述上，力求简明扼要，图文并茂，通俗易懂，便于教学和自学。在绘图上使用国家最新标准。由于本课程的实践性强，因此配合理论教学还编写了“电气控制与PLC应用技术”的实验与课程设计指导之内容。这是一部既有理论，又突出实践的综合性教程。

我们祝愿这部新编教材能为我国机电相关专业的发展和“卓越工程师”的培养做出贡献。

田敏
中国西部教育顾问、江苏省电动机工程学会理事、江苏省第十一届人大代表
淮安市电子学会副理事长、中国民主促进会淮安市委副主委
淮安信息职业技术学院院长/教授/研究员级高级工程师/博士

海南省三亚高级技工学校（国家级重点技工学校、国家中等职业技术学校
教革发展示范建设学校、国家高技能人才培养示范基地）校长
中国技工院校杰出校长/高级讲师/硕士

张晓辉
海南省三亚高级技工学校副校长/电气高级讲师/高级技师/高级考评员

前　　言

“电气控制及 PLC 应用技术”是全国高等院校电类学科最重要的专业课程之一，它包含传统的“工厂电气控制”和“PLC 原理及应用”两门课程的内容。

传统电气控制通常采用的是“继电器-接触器”控制，其特点是控制简便、价格便宜，在 PLC、单片机等未出现前的几十年间一直被广泛应用。随着科学技术的不断发展，现代电气控制技术已发展到了一个相当高的水平。传统电气控制技术的内容也发生了很大变化，有些已被淘汰；但其最基础的部分对任何先进的控制系统来说仍是必不可少的，就是在今天，其市场占有量还相当大。

可编程序控制器（PLC）是近几十年才发展起来的一种新型工业用控制装置。它可以取代传统的“继电器-接触器”控制系统实现逻辑控制、顺序控制、定时、计数等各种功能，中/大型高档 PLC 还能像微型计算机那样进行数字运算、数据处理、模拟量调节以及联网通信等。它具有通用性强、可靠性高、指令系统简单、编程简便易学、易于掌握、体积小、维修工作量少、现场连接方便等一系列显著优点，已广泛应用于机械制造、机床、冶金、采矿、建材、石油、化工、汽车、电力、造纸、纺织、装卸、环境保护等行业，分别超过了 DCS、智能控制仪表、IPC 等工控设备的市场份额；在自动化领域，PLC 与数控机床、工业机器人、CAD/CAM 并称为现代工业技术的四大支柱并已跃居榜首；尤其在机电一体化中的应用更是越来越广泛，已成为改造和研发机电一体化产品最理想的首选/优选控制器；其应用的深度和广度也代表了一个国家工业现代化的先进程度。随着中国日趋成为世界的加工中心，各类加工基地的建设，生产线、加工设备和加工中心的大量启用，PLC 工程控制系统的应用还将进一步扩大。

PLC 是基于继电器逻辑控制系统的原理而设计的，它的出现正在逐渐取代继电器-接触器逻辑控制系统，它是现代电气控制技术中不可替代的核心控制器件。作为电类学科中最重要的应用型专业课之一，“电气控制及 PLC 应用技术”课程必须包括传统继电器控制系统的内容，只是要精心组织、合理删减、注重连接，而对于“PLC 的原理及应用”等实践性和创新性知识则要重点突出讲解。

本书根据教育部“卓越工程师培养计划”的要求，从凸现行业指导、校企合作、工学结合、学用一致，理论密切联系生产实际、“教、学、做”一体化的现代教学特色，注重对大学生进行素质和技能培养与提高，以西门子的 S7-200 系列 PLC 为对象，详尽介绍了“电气控制与 PLC 应用技术”。

本书的编写既是编者多年来从事教学研究和科研开发实践经验的概括和总结，又博采了目前各教材和著作之精华，参加该书编写工作的有高安邦教授（第 1 章）、金陵科技学院智淑亚副教授（第 2、3 章和附录 A）、海南省三亚高级技工学校人事处长董泽斯高级讲师（第 5 章和附录 B、C、D）、电工电子教学部主任褚雪莲讲师/硕士（第 4 章）、电工电子教学部副主任韩维民高级讲师（第 6 章）、保定电力职业技术学院崔冰讲师（第 7 章）。全书由海南省三亚高级技工学校/淮安信息职业技术学院特聘教授/哈尔滨理工大学教授/硕士生

导师高安邦主持编写和负责统稿；聘请了中国西部教育顾问/江苏省电动机工程学会理事/江苏省第十一届人大代表/淮安市电子学会副理事长/中国民主促进会淮安市委副主委/淮安信息职业技术学院院长田敏教授，曾荣获全国职教突出贡献奖及中国技工院校杰出校长称号的海南省三亚高级技工学校校长石磊高级讲师，副校长张晓辉高级讲师/高级技师/高级考评员担任主审，他们对本书的编写提供了大力支持并提出了最宝贵的编写意见；硕士/青年讲师杨帅、薛岚、陈银燕、关士岩、陈玉华、毕洁廷、赵冉冉、刘晓艳、王玲、姚薇和学生邱少华、王宇航、马鑫、邱一启、张纺、武婷婷、司雪美、朱颖、陆智华、余彬等也为本书做了大量的辅助性工作。在此表示最衷心的感谢！该书的编写得到了海南省三亚高级技工学校、金陵科技学院、淮安信息职业技术学院、哈尔滨理工大学和保定电力职业技术学院的大力支持，在此也表示最真诚的感谢！任何一本新书的出版都是在认真总结和引用前人知识和智慧的基础上创新发展起来的，本书的编写无疑也参考和引用了许多优秀教材与研究成果的精华。在此向本书所参考和引用的资料、文献、教材和专著的编著者表示最诚挚的敬意和感谢！

由于本书编写紧扣“卓越计划”起动和实施，要求较高、难度较大；并且PLC技术目前还处在不断发展和完善过程中，其应用的领域十分广泛，现场条件千变万化，控制方案多种多样，只有熟练掌握好PLC的基本原理，并经过丰富的现场工程实践才能将PLC学好、用熟、用透，做出高质量的工程应用设计。鉴于编者的水平和经验有限，书中错误、疏漏、不足之处肯定不少，敬请读者和专家们不吝批评、指正、赐教，以便今后不断更好地发展、完善、充实和提高。

编　者

目　　录

序
前言
第1章　电气控制中常用的低压电器 …… 1
1.1　概述 …… 1
1.2　信号及控制电器 …… 4
1.2.1　非自动切换信号及控制电器 …… 4
1.2.2　自动切换信号及控制电器 …… 12
1.3　执行电器 …… 18
1.3.1　接触器 …… 18
1.3.2　固态继电器 …… 19
1.3.3　电磁执行电器 …… 22
1.4　保护电器 …… 25
1.4.1　熔断器 …… 25
1.4.2　热继电器 …… 26
1.4.3　电流和电压继电器 …… 28
1.4.4　智能保护器 …… 29
1.4.5　漏电保护器 …… 30
1.5　电气控制中常用的其他器件 …… 32
1.5.1　常用检测仪表 …… 32
1.5.2　常用安装附件 …… 34
本章小结 …… 35
习题与思考题 …… 35
第2章　电气传动控制中最常用的三相交流异步电动机 …… 36
2.1　交流异步电动机基础 …… 36
2.1.1　交流异步电动机的结构组成 …… 37
2.1.2　交流异步电动机的工作原理 …… 38
2.1.3　交流异步电动机的铭牌 …… 39
2.1.4　交流异步电动机的电磁转矩与机械特性 …… 41
2.2　交流异步电动机的运行控制 …… 45
2.2.1　交流异步电动机的工作特性 …… 45
2.2.2　交流异步电动机的运行控制 …… 46
2.2.3　交流异步电动机的一般故障维修 …… 52
本章小结 …… 54
习题与思考题 …… 54
第3章　传统电气控制的基本环节与典型电路 …… 55
3.1　电气制图与识图基础 …… 55
3.1.1　电气原理图 …… 55
3.1.2　电器元件布置图 …… 57
3.1.3　安装接线图 …… 58
3.1.4　电气识图方法与步骤 …… 58
3.2　传统电气控制常用的基本环节和典型电路 …… 59
3.2.1　电动机的起动控制电路 …… 59
3.2.2　电动机的正反转可逆控制电路 …… 67
3.2.3　多台电动机的顺序控制 …… 69
3.2.4　一台电动机的多地点控制 …… 70
3.2.5　双速电动机的高低速控制电路 …… 71
3.2.6　电动机的停机制动控制电路 …… 72
3.2.7　电气控制中的其他常用控制电路 …… 74
3.2.8　生产设备中的电液控制电路 …… 76
3.2.9　电气控制的保护环节 …… 79
本章小结 …… 81
习题与思考题 …… 82
第4章　现代电气控制中的PLC应用技术 …… 83
4.1　PLC的快速入门 …… 84
4.1.1　PLC的诞生与迅猛发展 …… 84
4.1.2　PLC的基本概念 …… 91
4.1.3　PLC的基本结构及工作原理 …… 97
4.1.4　PLC的技术性能 …… 106
4.1.5　PLC的编程语言 …… 109
4.1.6　PLC的特殊功能 …… 111
4.1.7　PLC的主流产品 …… 115
4.1.8　PLC的主要应用 …… 116
4.2　S7-200系列PLC的开发应用指南 …… 118
4.2.1　S7-200系列PLC的硬件模块 …… 120

4.2.2 S7-200 系列 PLC 的主要硬、软件性能指标 …… 123
4.2.3 S7-200 系列 PLC 的 13 大编程软元（器）件——数据存储区 …… 128
4.2.4 S7-200 系列 PLC 的基本指令 …… 135
4.2.5 S7-200 系列 PLC 编程软件 STEP7-Micro/WIN 的使用说明 …… 185
4.2.6 S7-200 PLC 的编程规则与技巧 …… 218
4.2.7 PLC 控制中常用的基本电路编程环节 …… 225
本章小结 …… 257
习题与思考题 …… 257
第 5 章 典型生产设备电气和 PLC 控制系统分析 …… 258
5.1 识读和分析电气与 PLC 控制电路图的方法和步骤 …… 258
5.2 CA6140 普通车床的电气与 PLC 控制电路图分析 …… 261
5.2.1 CA6140 普通车床的机械结构和主要运动 …… 261
5.2.2 CA6140 普通车床的电气控制电路 …… 263
5.2.3 CA6140 普通车床的 PLC 控制系统分析 …… 263
5.3 C650 卧式车床的电气与 PLC 控制电路图分析 …… 266
5.3.1 C650 卧式车床的机械结构、运动形式、拖动形式及控制要求 …… 266
5.3.2 C650 卧式车床的电气控制电路 …… 267
5.3.3 C650 卧式车床的 PLC 控制系统分析 …… 269
5.4 Z3040 摇臂钻床的电气与 PLC 控制系统分析 …… 272
5.4.1 Z3040 摇臂钻床的机械结构和主要运动 …… 273
5.4.2 Z3040 摇臂钻床的电气控制电路 …… 273
5.4.3 Z3040 摇臂钻床的 PLC 控制系统分析 …… 276
5.4.4 Z3040 摇臂钻床的常见电控故障分析 …… 279
5.5 M7130 平面磨床的电气与 PLC 电路图分析 …… 280
5.5.1 M7130 平面磨床的结构组成和主要运动 …… 280
5.5.2 M7130 平面磨床的电气控制电路 …… 281
5.5.3 M7130 平面磨床的 PLC 控制系统分析 …… 282
5.6 组合机床的电气与 PLC 控制电路分析 …… 285
5.6.1 组合机床的组成结构和工作特点 …… 285
5.6.2 深孔钻组合机床的 PLC 控制系统分析 …… 286
5.6.3 双头钻床的 PLC 控制系统分析 …… 291
5.7 PLC 在数控机床中的工程应用分析 …… 293
5.7.1 数控机床中 PLC 的主要功能 …… 293
5.7.2 PLC 与机床之间的信号处理过程 …… 294
5.7.3 数控机床中 PLC 控制程序 …… 295
本章小结 …… 298
习题与思考题 …… 299
第 6 章 生产设备的电气和 PLC 控制系统设计 …… 300
6.1 电气控制系统设计的基本内容和一般原则 …… 301
6.1.1 电气控制系统设计的基本内容 …… 301
6.1.2 生产设备电气控制电路设计的一般原则 …… 301
6.2 拟定任务书，确定电力拖动方案和选择电动机 …… 305
6.2.1 拟定任务书 …… 305
6.2.2 确定电力拖动方式 …… 305
6.2.3 确定生产设备调速方案 …… 305
6.2.4 进行电动机的选择 …… 305
6.2.5 生产设备的起动、制动和反向要求 …… 308
6.3 电气控制电路的经验设计法和逻辑

设计法 …………………………… 309
6.3.1 经验设计法 …………………… 309
6.3.2 逻辑设计法 …………………… 313
6.3.3 原理设计中应注意的几个问题 …………………………… 316
6.4 选择电气元件 ……………………… 317
6.4.1 继电器的选择 ………………… 317
6.4.2 接触器的选择 ………………… 318
6.4.3 熔断器的选择 ………………… 318
6.4.4 常用控制电器的选择 ………… 319
6.4.5 常用低压开关的选择 ………… 319
6.4.6 电磁铁的选择 ………………… 320
6.4.7 控制变压器的选择 …………… 321
6.5 生产设备电气控制系统的工艺设计 …… 321
6.5.1 电气设备总体配置设计 ……… 321
6.5.2 电气元件布置图的设计及电器部件接线图的绘制 ……………… 322
6.5.3 清单汇总和说明书的编写 …… 323
6.6 C6163 型卧式车床电气控制系统的设计案例 ……………………………… 324
6.6.1 C6163 卧式车床的主要结构及设计要求 ……………………… 324
6.6.2 C6163 卧式车床电气控制电路图的设计 ……………………… 325
6.6.3 C6163 卧式车床电气元件的选择 ……………………………… 326
6.6.4 绘制电气元件布置图和电气安装接线图 ………………………… 327
6.6.5 检查和调整电气元件 ………… 328
6.6.6 电气控制柜的安装配线 ……… 328
6.6.7 电气控制柜的安装检查 ……… 329
6.6.8 电气控制柜的调试 …………… 330
6.6.9 文档工作 ……………………… 330
6.7 生产设备的 PLC 控制系统设计 ……… 331
6.7.1 PLC 控制系统设计的基本原则 ……………………………… 331
6.7.2 PLC 控制系统设计的基本内容 ……………………………… 331
6.7.3 PLC 控制系统设计的一般步骤 ……………………………… 332
6.7.4 PLC 控制系统经典设计举例 …… 332
本章小结……………………………… 345
习题与思考题………………………… 346
第 7 章　电气与 PLC 控制实验及课程设计指导 ……………………… 347
7.1 电气与 PLC 控制实验及课程设计基本要求和注意事项 ……………… 347
7.1.1 实验及课程设计前的准备 ……… 347
7.1.2 实验及课程设计的实施进行 …… 348
7.1.3 实验及课程设计报告 ………… 348
7.1.4 实验及课程设计中的安全事项 ……………………………… 349
7.1.5 实验及课程设计中要熟练掌握一些关键主要设备的性能 ………… 349
7.2 电气控制部分实验指导 …………… 350
7.2.1 三相异步电动机点动和长动（连续）控制实验 ……………………… 350
7.2.2 三相异步电动机正反转控制实验 ……………………………… 353
7.2.3 三相异步电动机Y-△起动控制实验 ……………………………… 355
7.2.4 三相异步电动机能耗制动控制实验 ……………………………… 359
7.2.5 多台三相异步电动机的顺序控制实验（顺起逆停） …………… 362
7.2.6 三相异步电动机的多地点控制实验 ……………………………… 366
7.2.7 三相异步电动机的减压起动控制实验 ……………………………… 367
7.2.8 三相异步电动机的反接制动控制实验 ……………………………… 370
7.2.9 双速异步电动机的高/低速制动控制实验 ……………………… 373
7.2.10 三相异步电动机常用的保护控制实验……………………………… 376
7.3 PLC 控制技术实验指导 …………… 377
7.3.1 电动机 PLC 控制系统实验 ……… 377
7.3.2 继电器类指令实验 …………… 381
7.3.3 定时器类指令实验 …………… 383
7.3.4 计数器指令实验 ……………… 385
7.3.5 微分指令、锁存器指令实验 …… 388
7.3.6 移位指令实验 ………………… 392
7.3.7 交通灯控制电路实验 ………… 395
7.3.8 运料车控制电路实验 ………… 397
7.3.9 混料罐控制实验 ……………… 403
7.3.10 物流检测控制实验 …………… 405

7.4　电气与 PLC 控制课程设计指导 ……… 407
7.4.1　多台电动机起动停止（顺起逆停）控制系统设计 ……………………… 407
7.4.2　恒压供水控制系统设计 ………… 413
7.4.3　搬运机械手控制系统 …………… 421
7.4.4　PLC 的顺序控制程序设计 ……… 429
7.4.5　音乐演奏程序设计 ……………… 435
本章小结 ………………………………………… 440
附录 ……………………………………………… 441
附录 A　电气图常用图形符号和文字符号新/旧标准对照表 ……………… 441
附录 B　S7-200 系列 PLC 的系统配置 …… 443
附录 C　S7-200 系列 PLC 的常用指令 …… 444
附录 D　常用的部分特殊标志位存储器 SM ………………………… 449
参考文献 ………………………………………… 451

第1章　电气控制中常用的低压电器

主要内容：

（1）电气控制中常用低压电器的基本结构、工作原理、用途和选用方法。

（2）电气控制中常用低压电器的图形符号。

学习重点及教学要求：

（1）从使用的角度重点掌握电气控制中常用低压电器的基本结构、工作原理。

（2）从使用的角度了解电气控制中常用低压电器的用途和选用方法。

（3）熟练掌握电气控制中常用低压电器的图形符号说明，以便下一步分析、阅读和设计常用电气控制电路图。

1.1　概述

任何生产设备电气控制系统都需要一套电气控制装置来完成，包括各类低压电器，用以实现生产设备在生产过程中的各种工艺要求。所谓电器就是指能控制电的器具，即对电能的生产、输送、分配和使用起控制、调节、检测、转换及保护作用的电工器械。所谓低压电器，指工作在交流电压1200V或直流电压1500V及以下的电路中起通断、检测、保护、控制或调节作用的电器。电气控制常见的部分低压电器，如图1-1所示。

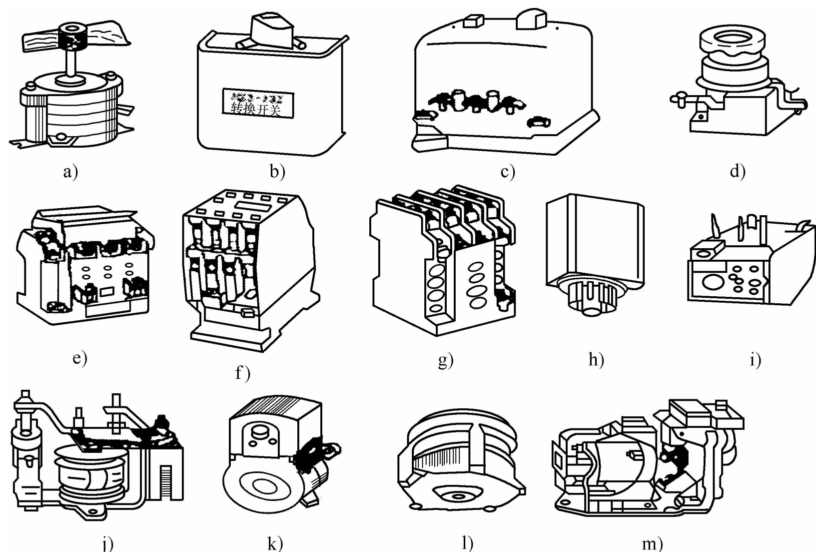


图1-1　电气控制常见的部分低压电器

a）HZ10/3型组合开关　b）HZ3型转换开关　c）DZ5-20型断路器　d）RL螺旋式熔断器　e）CJ10-20型交流接触器　f）JDB型交流接触器　g）JZ7型中间继电器　h）JDS型中间继电器　i）UA型热继电器　j）JT4型过电流继电器　k）JFZ0型速度继电器　l）JY1型速度继电器　m）JS7型空气阻尼式时间继电器

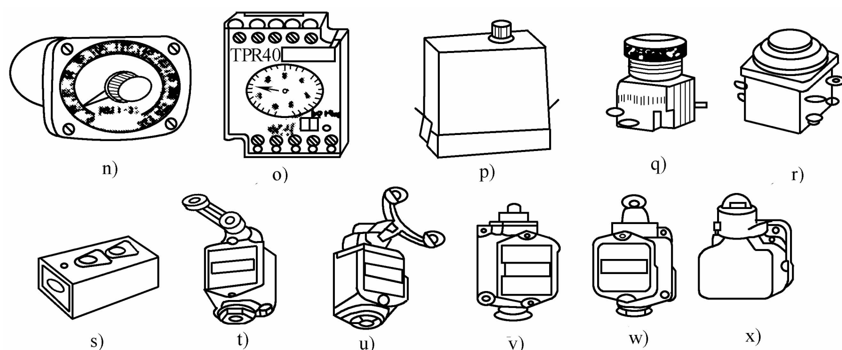


图 1-1　电气控制常见的部分低压电器（续）

n）JS11 型电动式时间继电器　o）TBR 型电动式时间继电器　p）JS14 型晶体管式时间继电器　q）LA19 型按钮　r）LA18 型按钮　s）LA10 型按钮　t）JLXK1-111 型行程开关　u）JLXK1-211 型行程开关　v）JLXK1-311 型行程开关　w）JLXK1-411 型行程开关　x）X2-N 型行程开关

电器的种类很多，分类的方法也不同。图 1-2 为电器的不同分类；图 1-3 为常用的各种低压电器；表 1-1 为电气控制中常用低压电器的种类及用途说明。

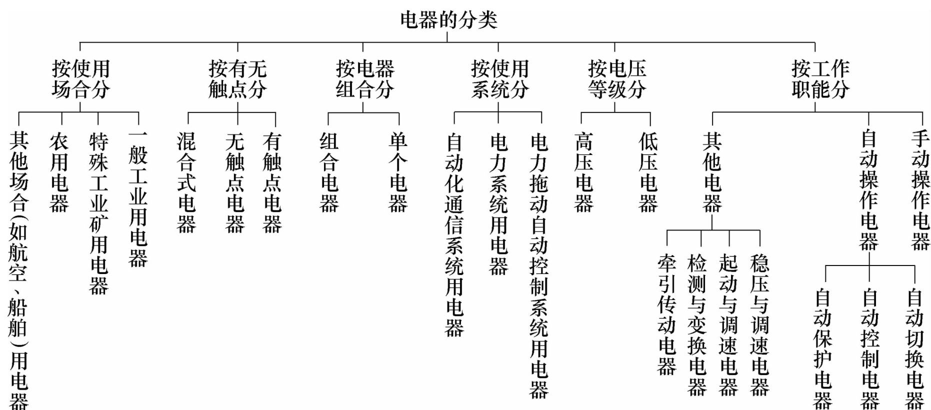


图 1-2　电器的不同分类

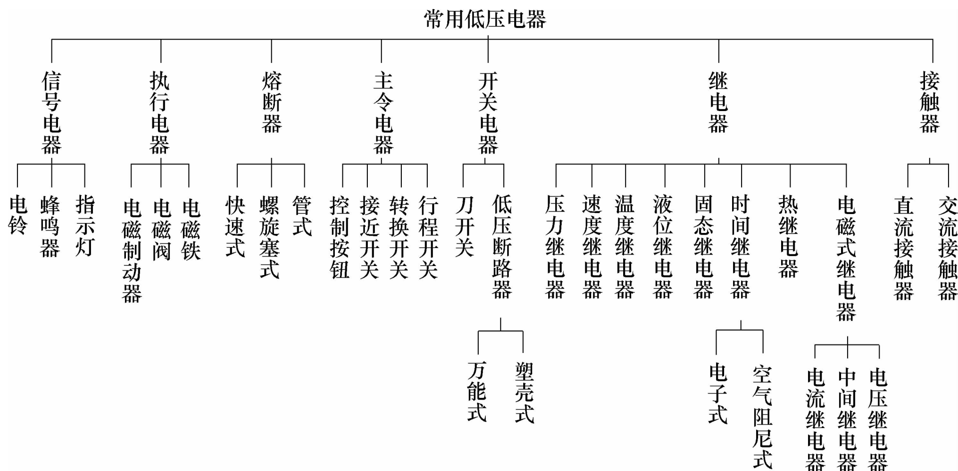


图 1-3　常用的各种低压电器

表 1-1　电气控制中常用低压电器的种类及用途说明

序　号	类　别	主 要 品 种	用　途
1	断路器	塑料外壳式断路器	主要用于电路的过负荷保护、短路、欠电压、漏电压保护，也可用于不频繁接通和断开的电路
		框架式断路器	
		限流式断路器	
		漏电保护式断路器	
		直流快速断路器	
2	刀开关	开关板用刀开关	主要用于电路的隔离，有时也能分断负荷
		负荷开关	
		熔断器式刀开关	
3	转换开关	组合开关	主要用于电源切换，也可用于负荷通断或电路的切换
		换向开关	
4	主令电器	按钮	主要用于发布命令或程序控制
		限位开关	
		微动开关	
		接近开关	
		万能转换开关	
5	接触器	交流接触器	主要用于远距离频繁控制负荷，切断带负荷电路
		直流接触器	
6	起动器	磁力起动器	主要用于电动机的起动
		星三起动器	
		自耦减压起动器	
7	控制器	凸轮控制器	主要用于控制回路的切换
		平面控制器	
8	继电器	电流继电器	主要用于控制电路中，将被控量转换成控制电路所需电量或开关信号
		电压继电器	
		时间继电器	
		中间继电器	
		温度继电器	
		热继电器	
9	电磁铁	制动电磁铁	主要用于起重、牵引、制动等场合
		起重电磁铁	
		牵引电磁铁	
10	熔断器	有填料熔断器	主要用于电路短路保护，也用于电路的过载保护
		无填料熔断器	
		半封闭插入式熔断器	
		快速熔断器	
		自复熔断器	

按照在电气控制中的用途又可分以下三大类：

（1）信号及控制电器

用于发送控制指令及实现电气控制电路中逻辑运算、延时等功能的电器。如：按钮开

关、行程开关、刀开关、中间继电器、时间继电器、速度继电器等。

（2）执行电器

用于完成传动或实现生产设备某种动作的电器。如：接触器、电磁阀、电磁铁、电磁离合器等。

（3）保护电器

用于保护生产设备控制电路及其用电设备安全的电器。如：熔断器、热继电器、过/欠电流（压）继电器等。

本章就从使用的角度出发，按其在生产设备电气控制中的用途来分类介绍它们的结构、动作原理和图形符号。

1.2　信号及控制电器

1.2.1　非自动切换信号及控制电器

1. 按钮

按钮（SB）又称控制按钮或按钮开关，是一种手动控制电器。它只能短时接通或分断 5A 以下的小电流电路，向其他自动电器发出指令性的电信号，控制其他自动电器动作。由于按钮载流量小，不能直接用于控制主电路的通断。按钮的作用是发布命令，在控制电路中可用于远距离频繁地操纵接触器、继电器，从而控制电动机的起动、运转、停止。按钮的结构和图形符号如图 1-4 所示。常态时，动断（常闭）触点闭合，动合（常开）触点断开。按下按钮，动断（常闭）触点断开，动合（常开）触点闭合；松开按钮，在复位弹簧作用下使触点复位。为避免误操作，常将钮帽做成不同的颜色来区别，如以红色作为停止和急停、绿色作为起动和运行、黄色表示干预、黑色表示点动、蓝色表示复位；另外还有黄、白等颜色和一些形象化符号供不同场合使用。其形象化符号如图 1-5 所示。

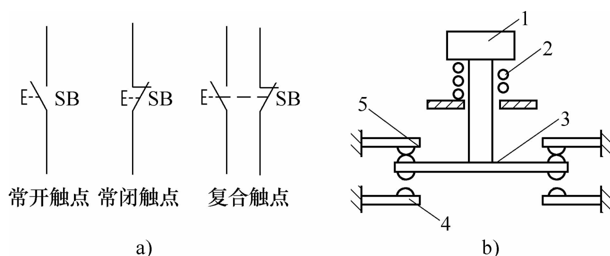


图 1-4　按钮的结构和图形符号

a）按钮的结构　b）按钮的图形符号

1—按钮帽　2—复位弹簧　3—桥式动触点

4—常开静触点　5—常闭静触点

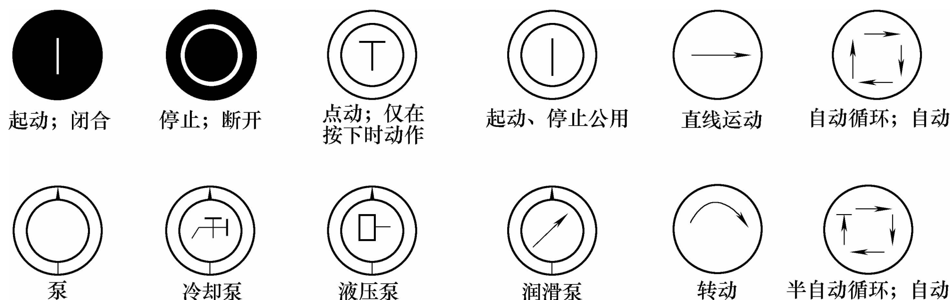


图 1-5　按钮的形象化符号

LA 系列部分按钮的外形图和触点系统如图 1-6 所示。

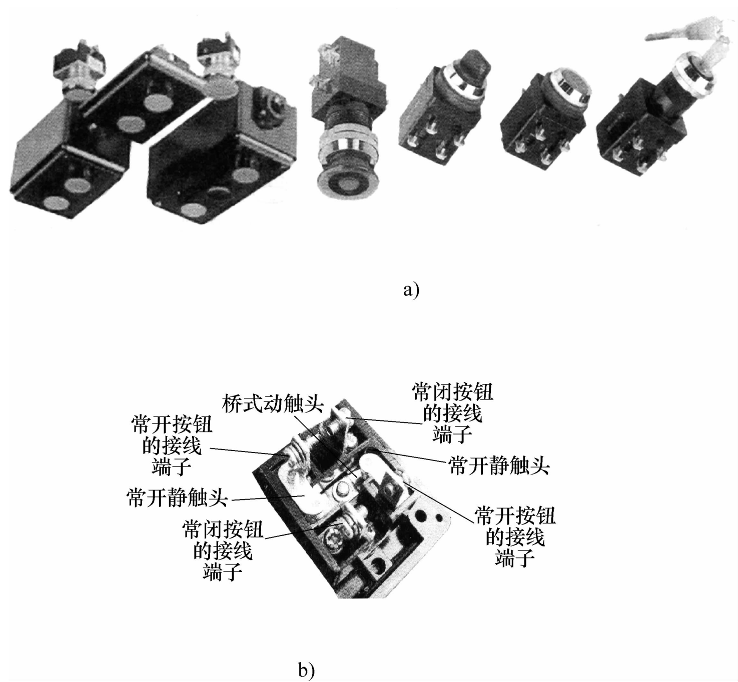


图 1-6　LA 系列部分按钮的外形图和触点系统

a）按钮的外形图　b）按钮的触点系统

按钮的选择使用时应从使用场合、所需触点数、触点型式及按钮帽的颜色等因素考虑。

2. 刀开关

刀开关（QS）俗名闸刀，是一种结构最简单且应用最广泛的手控低压电器，主要用于接通和切断长期工作设备的电源。广泛用在照明电路和小容量（5.5kW 以下）、不频繁起动的动力电路的控制电路中。刀开关的种类很多，根据通路的数量可分为单极、双极和三极。一般刀开关的额定电压不超过 500V。额定电流有 10A 到上千安培多种等级，有的刀开关附有熔断器。三极刀开关的结构如图 1-7 所示。

三极刀开关的图形符号如图 1-8 所示。

应用时主要根据电源种类、电压等级、工作电流、所需极数选择刀开关。

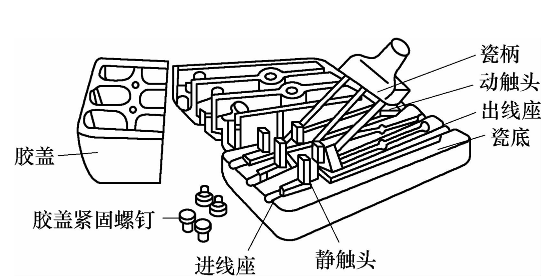


图 1-7　三极刀开关的结构图

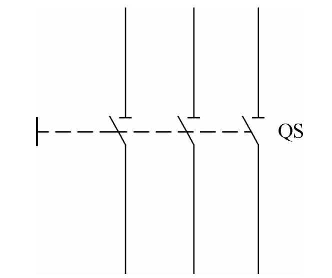


图 1-8　三极刀开关的图形符号

3. 行程开关

行程开关［SQ（T）］又称为限位开关。是一种根据运动部件的行程位置而切换电路的电器，用于反映机构的运动方向或所在位置，可实现行程控制及极限位置的保护。行程开关分为有触点式和无触点式两种。有触点行程开关动作原理与按钮类似，动作时碰撞行程开关的顶杆。按结构可分为直动式、微动式和滚轮式三种。直动式结构简单，因其触点的分合速度取决于挡块的移动速度，当挡块的移动速度低于 0.4m/min 时，触点切断太慢，使电弧在触点上停留太长，易于烧蚀触点。此时可以选用有盘形弹簧机构能瞬时动作的滚轮式行程开关，其特点是通断时间不受挡块移动速度的影响，动作快；缺点是结构复杂，价格高。为克服直动式结构的问题，还可以选用有弯片状弹簧的微动式行程开关，这种行程开关更为灵巧、敏捷，缺点是不耐用。行程开关的结构与图形符号如图 1-9 所示。三种行程开关的结构特点如图 1-10 所示。

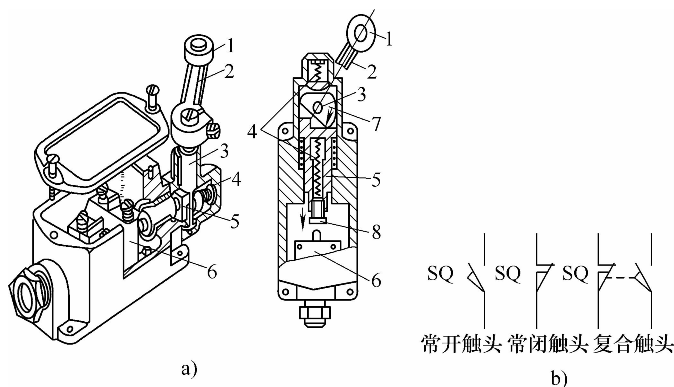


图 1-9　行程开关的结构与行程开关

a）行程开关的结构　b）行程开关

1—滚轮　2—杠杆　3—转轴　4—复位弹簧　5—撞块　6—微动开关　7—凸轮　8—调节螺钉

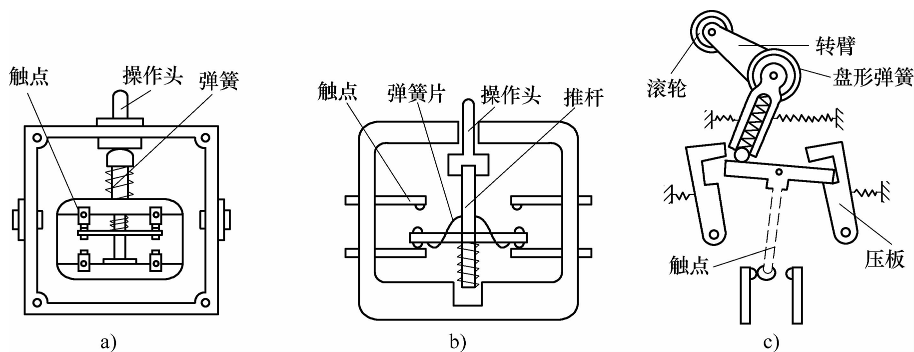
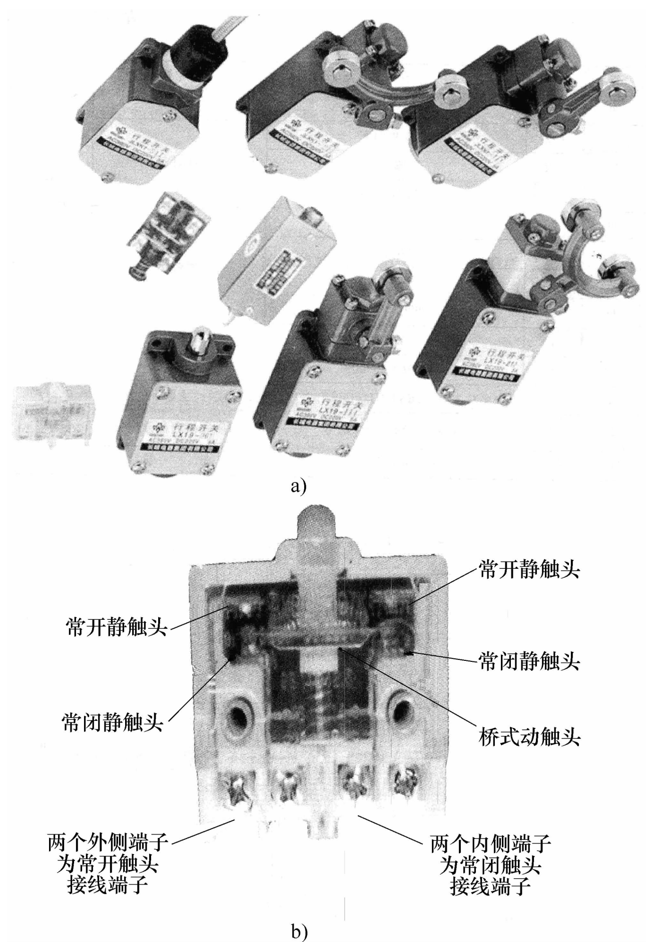


图 1-10　三种行程开关的结构特点

a）直动式　b）微动式　c）滚轮式

LX 系列部分行程开关的外形图和触点系统如图 1-11 所示。

行程开关的选择主要应根据电源种类、电压等级、工作电流、现场使用环境条件等进行。



a)
b)

图 1-11　LX 系列部分行程开关的外形图和触点系统
a）行程开关的外形图　b）行程开关的触点系统

接近开关分为电感式和电容式两种，电感式的感应头是一个具有铁氧体磁心的电感线圈，故只能检测金属物体的接近。电感式接近开关的工作原理如图 1-12 所示。它主要由一个高频振荡器和一个整形放大器组成，振荡器振荡后，在开关的检测面产生交变磁场。当金属体接近检测面时，金属体产生涡流，吸取了振荡器的能量，使振荡器减弱以致停振。“振荡”和“停振”这两种状态由整形放大器转换成“高”和“低”两种不同的电平，从而起到“开”和“关”的控制作用。目前常用的型号有 LJ1、LJ2 等系列。

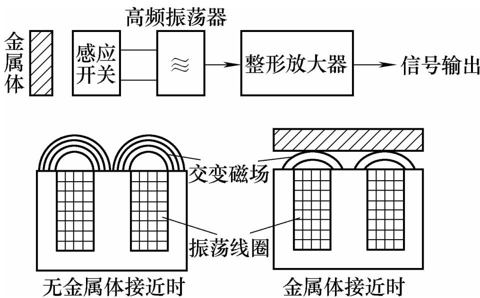


图 1-12　电感式接近开关的工作原理示意图

电感式接近开关的外形图如图 1-13 所示。其分类较多，有双线、三线及四线等，有 PNP 型和 NPN 型等。NPN 型的接线方式如图 1-14 所示。



图 1-13　电感式接近开关的外形图

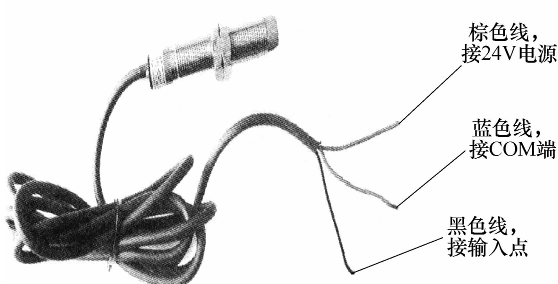


图 1-14　NPN 型三线电感式接近开关的接线图

接近开关采用非接触型感应输入电路，具有可靠性高、寿命长、操作频率高、定位精度好、反应迅速等优点。目前还广泛使用电子式接近开关作为行程或位置控制。其电路图和图形符号如图 1-15 所示。

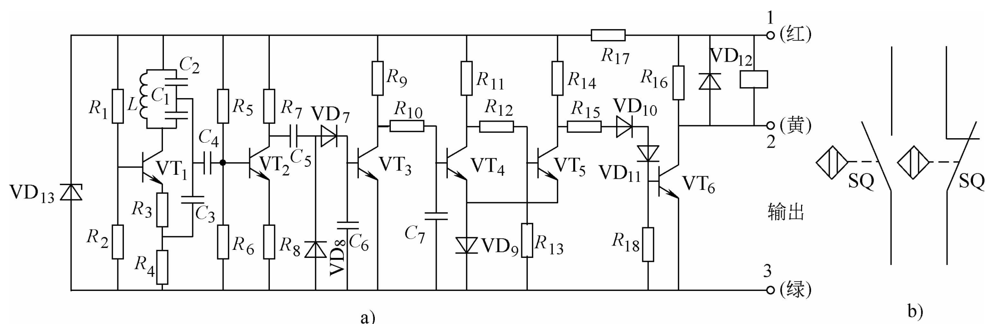


图 1-15　接近开关的电路原理图及符号

a）LJ2 系列晶体管接近开关原理图　b）接近开关的图形及文字符号

由图 1-15 可知，电路由晶体管 VT1、振荡线圈 L 及电容器 C1、C2、C3 组成电容二点式高频振荡器，其输出经由 VT2 级放大，通过 VT7、VD8 整流成直流信号，加到晶体管 VT3 的基极，晶体管 VT4、VT5 构成施密特电路，VT6 级为接近开关的输出电路。

当开关附近没有金属物体时，高频振荡器谐振，其输出经由 VT2 放大并经 VD7、VD8 整流成直流，使 VT3 导通，施密特电路截止，VD7 饱和导通，输出级 VD8 截止，接近开关无输出。

当金属物体接近振荡线圈 L 时，振荡减弱，直至停止，这时 VT3 截止，施密特电路翻转，VD7 截止，VD8 饱和导通，即有输出。其输出端可带继电器或其他负载。

电容式接近开关的感应头只是一个圆形平板电极，这个电极与振荡电路的地线形成一个分布电容。当有导体或介质接近感应头时，电容量增大而使振荡器停振，输出电路发出电信号。由于电容式接近开关既能检测金属，又能检测非金属及液体，因而在国外应用得十分广泛，国内也有 LXJ15 系列和 TC 系列等产品。

4. 组合开关

组合开关实质上也是一种特殊刀开关，只不过一般刀开关的操作手柄是在垂直安装面的平面内向上或向下转动，而组合开关的操作手柄则是在平行于安装面的平面内向左或向右转动而已。多用在机床电气控制电路中，作为电源的引入开关，也可以用做不频繁地接通和断

开电路、换接电源和负载及控制 5kW 以下的小容量电动机的正反转和丫-△起动等。

组合开关的结构图如图 1-16 所示。组合开关的图形符号如图 1-17 所示。

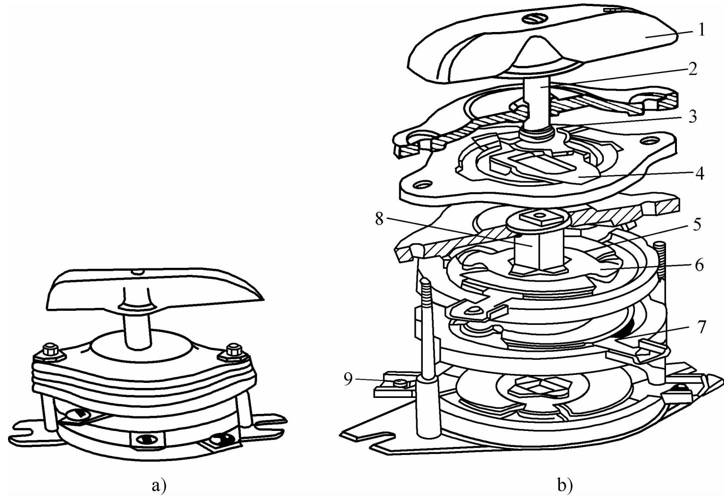


图 1-16　组合开关的结构图

a）外形图　b）内部结构

1—手柄　2—转轴　3—弹簧　4—凸轮　5—绝缘垫板　6—动触片　7—静触片

8—绝缘杆　9—接线柱

组合开关的选择主要应根据电源种类、电压等级、工作电流、使用场合的具体环境条件等进行。

5. 万能转换开关

万能转换开关是具有更多的操作位置和触点、能够连接多个电路的一种手动控制电器。由于它的档位多、触点多，可控制多个电路，能适应复杂电路的要求。

万能转换开关的结构图如图 1-18 所示。其实物图、图形符号及开关表如图 1-19 所示。

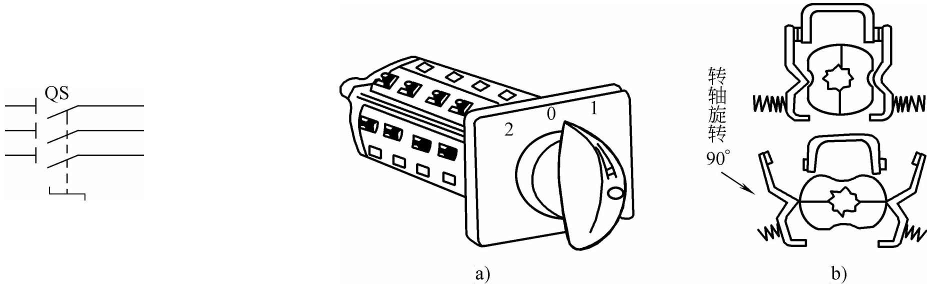


图 1-17　组合开关的图形符号

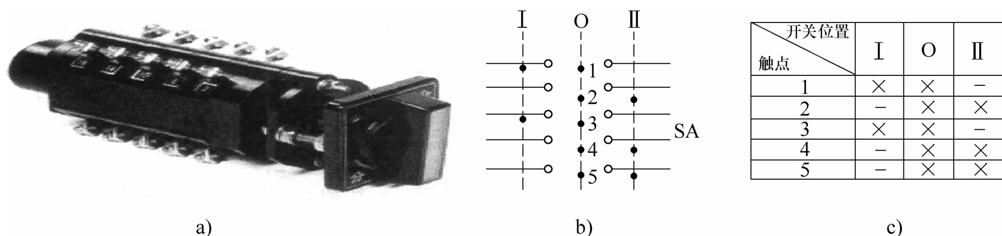
图 1-18　万能转换的结构图

a）外形　b）凸轮通断触点示意图

万能转换开关的选择也应该根据电源种类、电压等级、工作电流、使用场合的具体环境条件等进行。

6. 主令控制器

主令控制器是用来发出信号指令的电器。触点的额定电流较小，不能直接控制主电路，而是通过接通、断开接触器或继电器的线圈电路，间接控制主电路。



开关位置 触点	Ⅰ	O	Ⅱ
1	×	×	−
2	−	×	×
3	×	×	−
4	−	×	×
5	−	×	×

图 1-19　万能转换开关的实物图、图形符号和开关表

a）实物图　b）图形符号　c）开关表

图 1-20 为主令控制器外形及结构原理图，手柄通过带动凸轮的转动来操作触点的断开与闭合。目前常用的有 LK14、LK15、LK14 系列主令控制器。机床上常用的“十”形转换开关也属于主令控制器，这类开关一般用于多电动机拖动或需多重联锁的控制系统中。

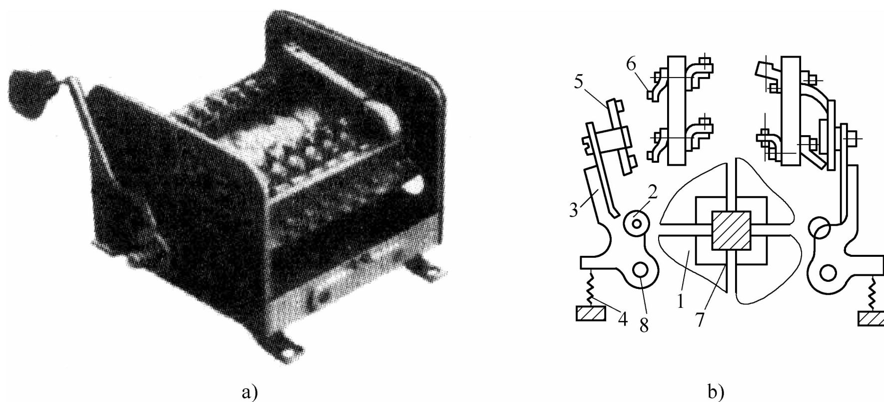


图 1-20　主令控制器外形及结构原理图

1—凸轮　2—滚子　3—杠杆　4—弹簧　5—动触点　6—静触点　7—转轴　8—轴

7. 低压断路器

低压断路器（QF）又称自动开关，是一种集操作控制和多种保护功能于一身的电器。它除主要能完成接通和分断电路外，还能对电路或电气设备发生的短路、过载、失电压等故障进行保护。常用做低压配电的总电源开关和电动机主电路的短路、过载、失电压保护开关。其结构图如图 1-21、图 1-22 所示。低压断路器主要由触点系统、操作机构、各种脱扣器和灭弧装置等组成。

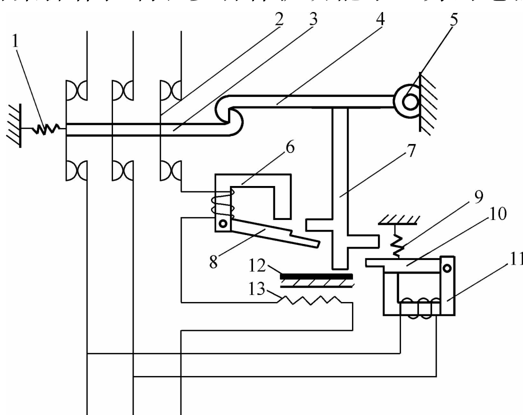


图 1-21　低压断路器的原理图

1、9—弹簧　2—触点　3—锁键　4—搭钩　5—轴　6—过电流脱扣器　7—杠杆　8、10—衔铁　11—欠电压脱扣器　12—双金属片　13—电阻丝

1）触点系统、操作机构主要完成合、分闸操作，实现开关的作用。

2）脱扣器是低压断路器的主要保护装置，包括电磁脱扣器（作短路保护）、热脱扣器（作过载保护）、失压脱扣器以及由电磁和热脱扣器组合而成的复式脱扣器等种类。电磁脱扣器的线圈串联在主电路中，若

电路或设备短路，主电路电流增大，线圈磁场增强，吸动衔铁，使操作机构动作，断开主触点，分断主电路而起到短路保护作用。电磁脱扣器有调节螺钉，可以根据用电设备容量和使用条件手动调节脱扣器动作电流的大小。

3）热脱扣器是一个双金属片热继电器。它的发热元件串联在主电路中。当电路过载时，过载电流使发热元件温度升高，双金属片受热弯曲，顶动自动操作机构动作，断开主触点，切断主电路而起过载保护作用。

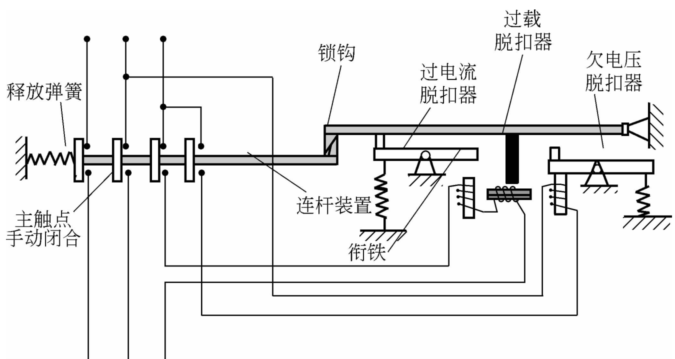


图 1-22　低压断路器的结构和工作原理图

低压断路器以结构形式分类有开启式和装置式两种。

开启式又称为框架式或万能式，装置式又称为塑料壳式。框架式 DZ47 型低压断路器的外形图及低压断路器图形符号如图 1-23 所示。

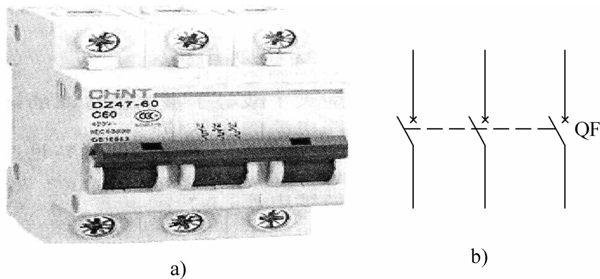


图 1-23　低压断路器外形图与图形符号

a）DZ47-60 型低压断路器外形图　b）低压断路器图形符号

低压断路器的选择应考虑额定电压、额定电流和允许切断的极限电流以及脱扣器的整定值等和所控制的主电路相匹配。

8. 负荷开关

为保障机床等设备供电主电路大电流的安全可靠，通常还采用封闭式的电源开关，即负荷开关，可在带负荷电流状态下直接分断负荷主电路。

负荷开关的结构图如图 1-24 所示。三相负荷开关的图形符号如图 1-25 所示。

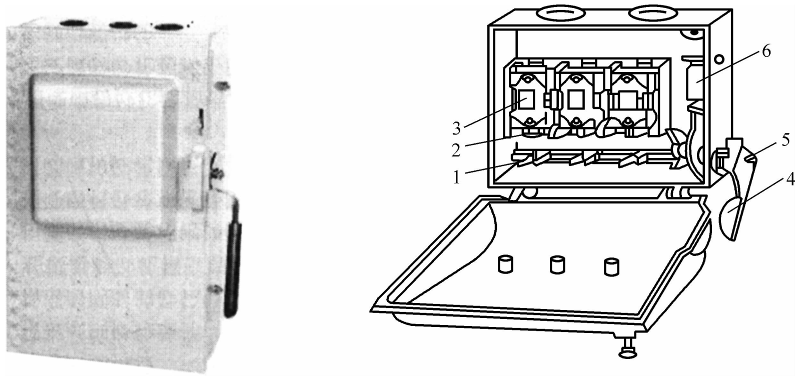


图 1-24　负荷开关的结构图

1—闸刀　2—夹座　3—熔断器　4—手柄　5—转轴　6—速断弹簧

9. 智能化断路器

传统断路器的保护功能是利用热效应或电磁效应原理，通过机械系统的动作来实现的。智能化断路器的特征是采用以微处理器或单片机为核心的智能控制器（智能脱扣器）。它不仅具备普通断路器的各种保护功能，同时还具备实时显示电路中的各种电气参数（电流、电压、功率因数等），对电路进行在线监视、测量、试验、自诊断和通信等功能；还能够对各种保护功能的工作参数进行显示、设定和修改。将电路动作时的故障参数存储在非易失性存储器中以便查询。智能化断路器原理框图如图 1-26 所示。

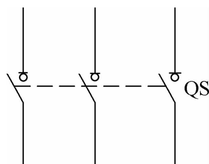


图 1-25　三相负荷开关图形符号

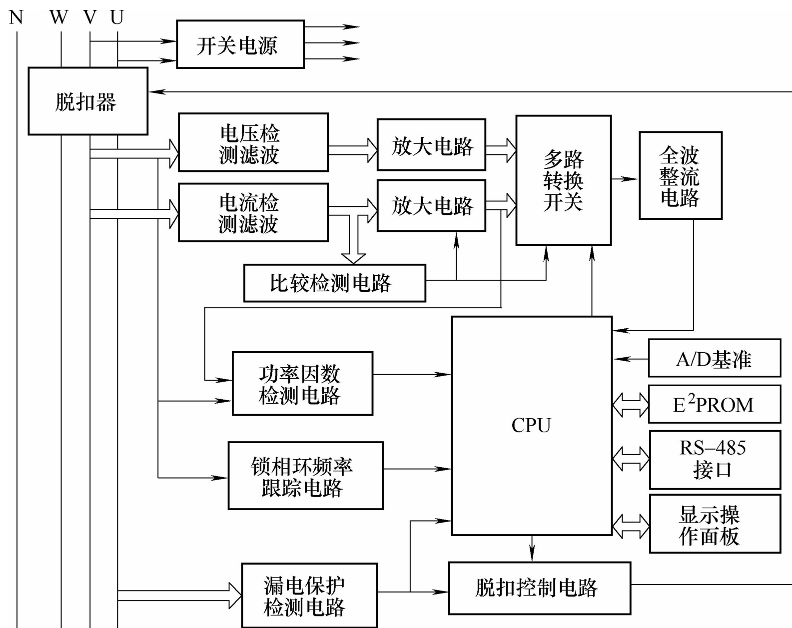


图 1-26　智能化断路器原理框图

智能化断路器有框架式和塑料外壳式两种。框架式主要用做智能化自动配电系统中的主断路器。塑料外壳式主要用在配电网络中分配电能和作为电路及电源设备的控制与保护，也可用做三相笼型异步电动机的控制。智能化控制器一直是创新型国家的重点开发项目。

1.2.2　自动切换信号及控制电器

自动切换信号及控制电器是指主要借助电磁力或某个物理量的电磁继电器。继电器主要用于传递控制信号，其触点通常接在控制电路中。继电器种类很多，机床电气控制系统中常用的主要有电磁式中间继电器、速度继电器、时间继电器等。继电器的工作特点是阶跃式的输入输出特性，如图 1-27 所示。当继电器输入量由零增加到 x_2 以前，继电器输出为零；当输入量 x 增加到 x_2 时，继电器吸合，通过其触点的输出量突变为 y_1 并保持不变。若 x 再增加，输出 y_1 不变。当 x 减少到 x_1

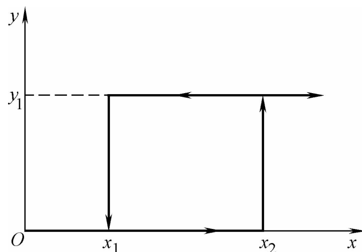


图 1-27　继电器特性曲线

时，继电器释放。输出 y 从 y_1 降到零。x 继续小时，输出仍为零。

1. 中间继电器

中间继电器（KA）也是一种电压继电器，其主要用途是进行电路的逻辑控制或实现触点的转换和扩展（增加触点的数量和容量），故触点的数量多（可多达 6 对或更多），触点通断电流大（额定电流 5 ~ 10A），动作灵敏（动作时间小于 0.5s）。JZC1-44 型中间继电器的结构与图形符号如图 1-28 所示。它由电磁系统、触点系统和动作结构组成。当中间继电器的线圈得电时，其衔铁和铁心吸合，从而带动常开触点闭合，常闭触点分断；一旦线圈失电，其衔铁和铁心释放，触点复位为原始状态。

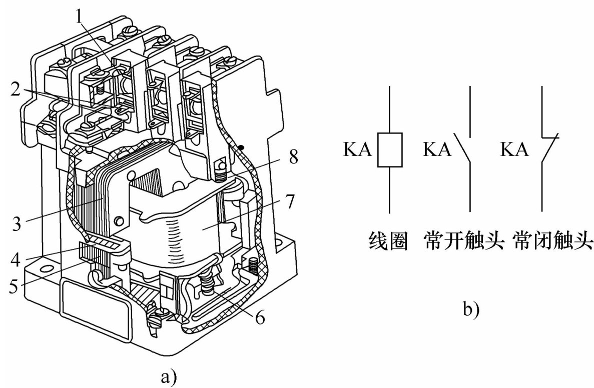


图 1-28　JZC1-44 型中间继电器的结构与图形符号

a）JZC1-44 型中间继电器的结构　b）图形符号

1—常闭接点　2—常开接点　3—动铁心　4—短路环　5—静铁心

6—反作用弹簧　7—线圈　8—复位弹簧

部分 JZ 中间继电器的外形图和 JZC1-44 型中间继电器触点系统如图 1-29 所示。

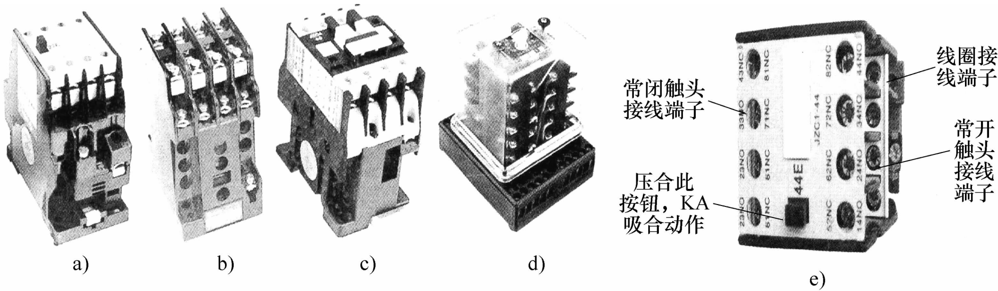


图 1-29　部分 JZ 中间继电器的外形图和 JZC1-44 型中间继电器触点系统

a）JZC 系列　b）JZ7 系列　c）JZC4 系列　d）JZ14 系列　e）JZC1-44 型中间继电器触点系统

2. 速度继电器

速度继电器（KS）是测量设备转速的元件。它能反映设备转动的方向以及是否停转，因此广泛用于异步电动机的反接制动中。其结构和工作原理与笼型电动机类似，主要有转子、定子和触点三部分。其中转子是圆柱形永磁铁，与被控旋转机构的轴连接，同步旋转。定子是笼形空心圆环，内装有笼形绕组、它套在转子上，可以转动一定的角度。当转子转动

时（当转子转速大于 120r/min 时），在绕组内感应出电动势和电流，此电流和磁场作用产生扭矩使定子柄向旋转方向转动、拨动簧片使触点闭合或断开。当转速接近零（约 100r/min）时，扭矩不足以克服定子柄重力，触点系统恢复原态。JY1 型速度继电器的结构原理图与图形符号如图 1-30 所示。

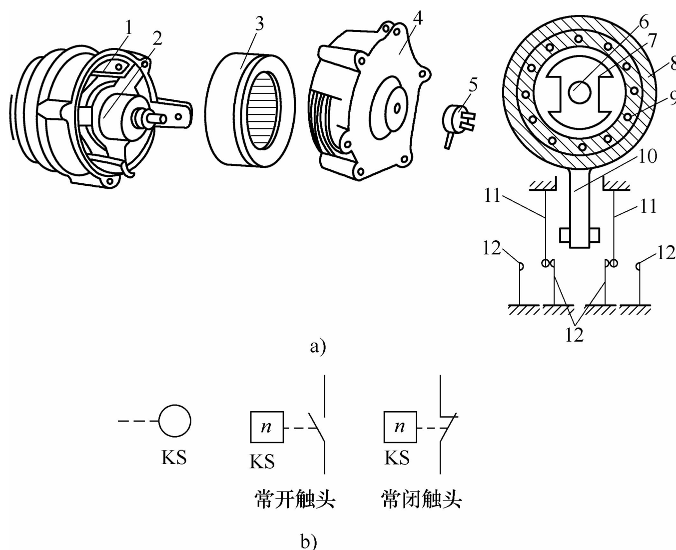


图 1-30　JY1 型速度继电器的结构原理图与图形符号

a）结构原理图　b）图形符号

1—可动支架　2—转子　3、8—定子　4—端盖　5—连接头　6—转轴　7—转子　9—定子绕组　10—胶木摆杆　11—动触点　12—静触点

JY1 型速度继电器的外形、触点系统及与电动机的连接如图 1-31 所示。

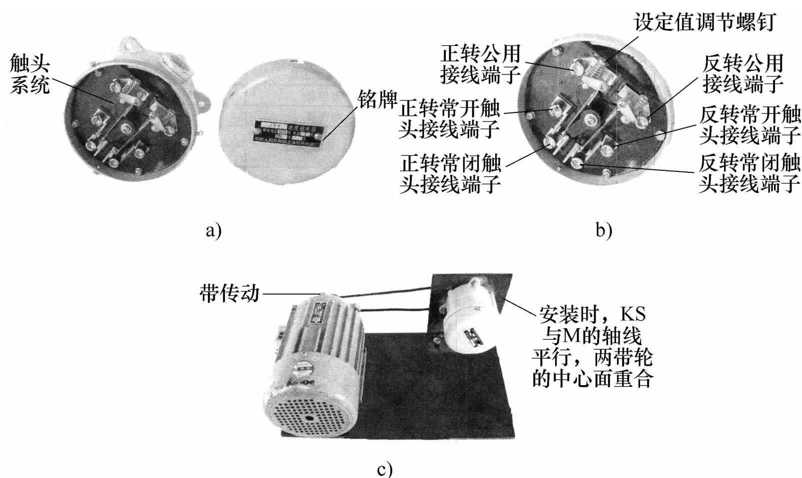


图 1-31　JY1 型速度继电器的外形、触点系统及与电动机的连接

a）外形图　b）触点系统　c）与电动机的连接

3. 时间继电器

时间继电器（KT）是用来定时的电器件，是一种按照时间原则进行控制的电器。时间继电器的外形图和结构如图 1-32 所示。

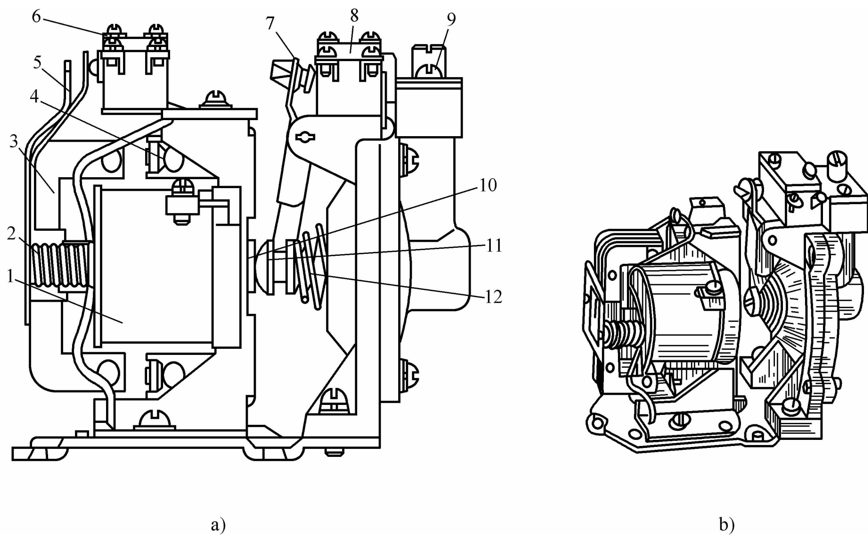


图 1-32　时间继电器的外形图和结构图

a）外形图　b）结构图

1—线圈　2—反力弹簧　3—衔铁　4—静铁心　5—弹簧片　6、8—微动开关

7—杠杆　9—调节螺钉　10—推杆　11—活塞杆　12—宝塔簧片

时间继电器按工作方式可分为通电延时动作型和断电延时动作型两类；按动作原理分为空气阻尼型、电磁式、电动机式、半导体式。

（1）空气阻尼型时间继电器

常见空气阻尼型时间继电器有 JS7-A 型。延时范围为 0.4 ~ 180s。JS7-A 型时间继电器的结构图如图 1-33 所示。

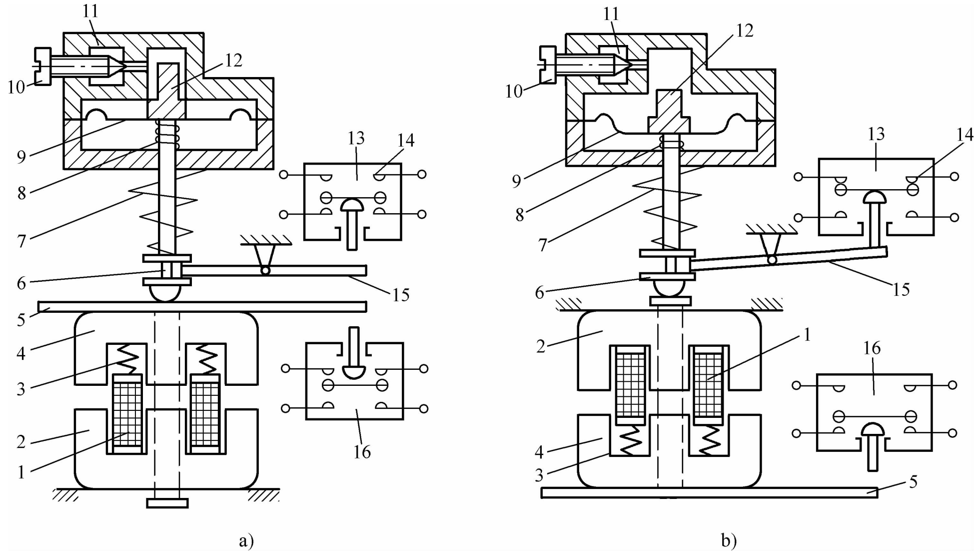


图 1-33　JS7-A 型时间继电器的结构图

a）通电延时型　b）断电延时型

1—线圈　2—静铁心　3、7、8—弹簧　4—衔铁　5—推板　6—顶杆　9—橡皮膜

10—螺钉　11—进气孔　12—活塞　13、16—微动开关　14—延时触头　15—杠杆

JS7-A 由电磁机构、工作触头及气室三部分组成，它的延时是靠空气的阻尼作用来实现的，按其控制原理有通电延时和断电延时两种类型。

通电延时型时间继电器电磁铁线圈 1 通电后，将衔铁 4 吸下，于是顶杆 6 与衔铁 4 间出现一个空隙，当与顶杆 6 相连的活塞 12 在弹簧 7 作用下由上向下移动时，在橡皮膜 9 上面形成空气稀薄的空间（气室），空气由进气孔 11 逐渐进入气室，活塞 12 因受到空气的阻力，不能迅速下降，在降到一定位置时，杠杆 15 使触头 14 动作（常开触点闭合，常闭触点断开）。线圈断电时，弹簧使衔铁和活塞等复位，空气经橡皮膜 9 与顶杆 6 之间推开的气隙迅速排出，触点瞬时复位。

断电延时型时间继电器与通电延时型时间继电器的原理与结构均相同，只是将其电磁机构翻转 180°安装，即为断电延时型。

空气阻尼式时间继电器延时时间有 0. 4 ~ 180s 和 0. 4 ~ 60s 两种规格，具有延时范围较宽、结构简单、工作可靠、价格低廉、寿命长等优点，是机床交流控制电路中常用的时间继电器。

时间继电器的图形符号如图 1-34 所示。应特别注意：在分析和记忆时间继电器的图形符号时首先要看其接点是常开接点还是常闭接点？然后再将是闭合时延时还是开启时延时加上就可以了，这样不容易混淆。常用的有：

1） 延时闭合的常开接点（开启时不延时）。

2） 延时开启的常开接点（闭合时不延时）。

3） 延时开启的常闭接点（闭合时不延时）。

4） 延时闭合的常闭接点（开启时不延时）。

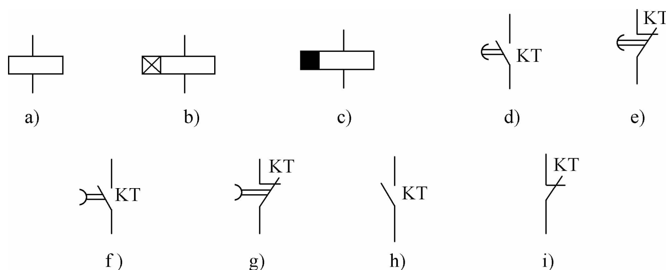


图 1-34　时间继电器的图形符号

a）线圈一般符号　b）通电延时线圈　c）断电延时线圈　d）延时闭合常开触点　e）延时断开常闭触点　f）延时断开常开触点　g）延时闭合常闭触点　h）瞬动常开触点　i）瞬动常闭触点

（2） 电磁式时间继电器

电磁式时间继电器只能直流断点延时动作，一般在直流电器控制电路中应用较广。它的结构与电磁式继电器结构相同，主要是靠铁芯柱上的金属阻尼套筒来实现延时。即当线圈断电后，通过铁芯的磁通要迅速减少，由于电磁感应，在阻尼套筒内产生感应电流。根据电磁感应定律，感生电流产生的磁场总是阻碍原来磁场的减弱，使铁芯继续吸引衔铁一小段时间，从而达到了延时的目的。

这种时间继电器延时时间长短是靠改变铁芯与衔铁间非磁性垫片的厚度或改变反力弹簧

的松紧来调节的。垫片厚则延时短，薄则延时长；弹簧紧则延时短，松则延时长。

电磁式时间继电器结构简单，价格低廉，但延时较短，一般可达0.2～10s，一般只能用于直流断点延时。常用的通用时间继电器的型号有JT18系列等。

（3）电动式时间继电器

电动式时间继电器主要由同步电动机、电磁离合器、减速齿轮、触点与延时调整机构等组成，其结构外形如图1-35所示。

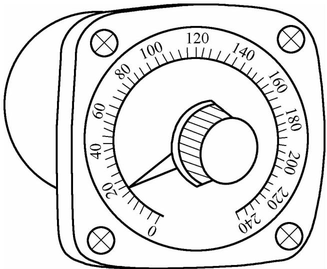


图1-35　电动式时间继电器外形图

电动式时间继电器具有如下特点：

1）因同步电动机的转速只与电源频率有关，不受电源电压波动和环境温度变化的影响，所以延时精度很高。

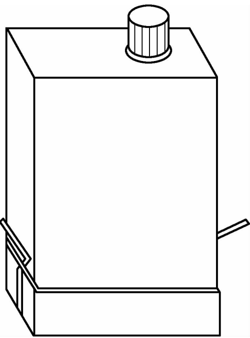
2）延时范围宽，可从几秒到几十小时。

3）缺点的是结构复杂、价格高、寿命短。

常用电动式时间继电器有JS11、JS17和7PR等系列。

（4）电子式时间继电器

电子式时间继电器体积小、机械结构简单、寿命长、精度高、可靠性好。随着电子技术的飞速发展，正在获得越来越广泛的应用


图1-36　电子式时间继电器外形

例如JS20系列时间继电器采用的是插座式结构，所有元件均装在印制电路板上，用螺钉使之与插座紧固，再装上塑料壳组成本体部分，在罩壳顶面装有铭牌和整定电位器旋钮，并有动作指示灯。其结构外形如图1-36所示。

其典型产品如晶体管式时间继电器也称半导体式时间继电器，具有延时范围广（最长可达3600s）、精度高（一般为5%左右）、体积小、耐冲击震动、调节方便和寿命长等优点，它的发展很快，使用也日益广泛。

晶体管式时间继电器是利用RC电路中电容电压不能跃变，只能按指数规律逐渐变化的原理——电阻尼特性获得延时的。所以，只要改变充电回路的时间常数即可改变延时时间。由于调节电容比调节电阻困难，多用调节电阻的方式来改变延时时间。

常用的产品有JSJ、JS13、JS14、JS15、JS20型等。现以JSJ型为例说明晶体管式时间继电器的工作原理。图1-37为JSJ型晶体管式时间继电器的原理图。

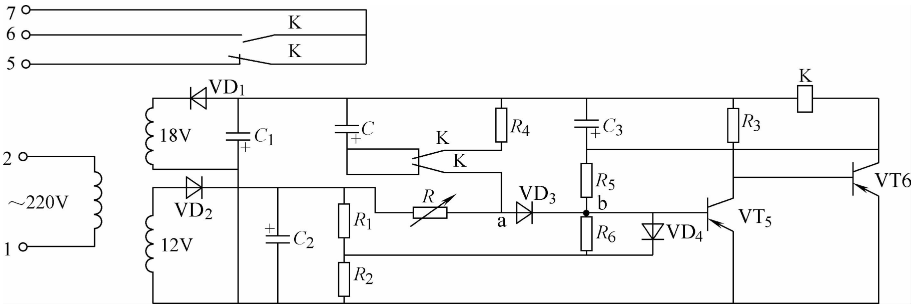


图1-37　JSJ型晶体管式时间继电器的电路图

其工作原理为：接通电源后，变压器二次侧 18V 负电源通过继电器 K 的线圈、$R5$ 使 VD3 获得偏流而导通，从而 VT6 截止。此时 K 的线圈中只有较小的电流，不足以使 K 吸合，所以继电器 K 不动作。同时，变压器二次侧 12V 的正电源经 VD2 半波整流后，经过可调电阻 R_1、R、继电器常闭触头 K 向电容 C 充电，使 a 点电位逐渐升高。当 a 点电位高于 b 点电位并使 V3 导通时，在 12V 正电源作用下 VT5 截止，VT6 通过 R_3 获得偏流而导通。VT6 导通后继电器线圈 K 中的电流大幅度上升，达到继电器的动作值时使 K 动作，其常闭打开，断开的充电回路，常开闭合，使 C 通过 R_4 放电，为下次充电作准备。继电器 K 的其他触头则分别接通或分断其他电路。当电源断电后，继电器 K 释放。所以，这种时间继电器是通电延时型的，断电延时只有几秒钟。电位器 R_1 用来调节延时范围。

常用的 JSZ3 系列部分时间继电器外形图和引脚及其功能如图 1-38 所示。



图 1-38　常用的 JSZ3 系列部分时间继电器外形图和引脚及其功能

a）JSZ3 系列部分时间继电器外形图　b）引脚及其功能

1.3　执行电器

执行电器以电磁式为主，常用的有接触器、固态继电器和电磁执行电器等。

1.3.1　接触器

接触器（KM）是一种接通或切断电动机或其他负载主电路的自动切换电器。它是利用电磁力来使开关打开或断开的电器，适用于频繁操作、远距离控制强电电路，并具有低压释放的零压保护性能。接触器通常分为交流接触器和直流接触器。其主要结构包括触点系统、电磁机构、灭弧机构以及反作用弹簧等。其工作原理是当线圈得电后，衔铁被吸合，带动三对主触点闭合，接通电路，辅助触点也闭合或断开；当线圈失电后，衔铁被释放，三对主触点复位，电路断开，辅助触点也断开或闭合。大容量的接触器都具有快速灭弧装置，使用安全可靠。

交流接触器外形和结构图如图 1-39 所示。交流接触器的图形符号如图 1-40 所示。

选择接触器主要考虑以下参数：

（1）触点通断电源种类：交流或直流。

（2）主触点额定电压和电流。

（3）辅助触点种类、数量及触点额定电流。

（4）电磁线圈的电源、种类及频率。

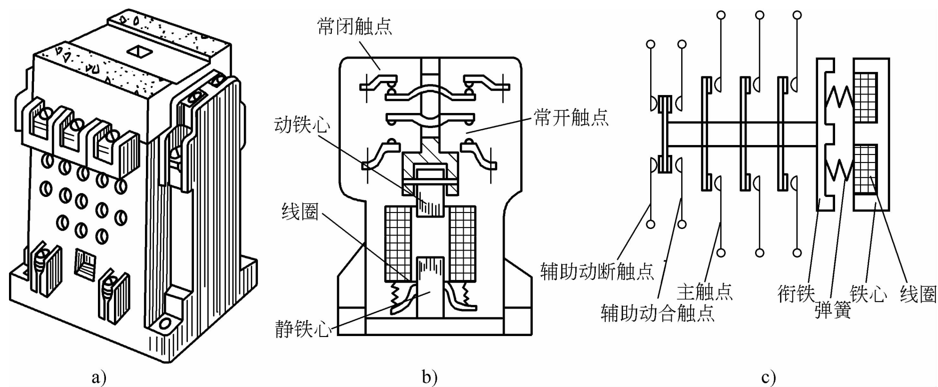


图 1-39　交流接触器外形和结构图

a）外形　b）结构图　c）结构示意图

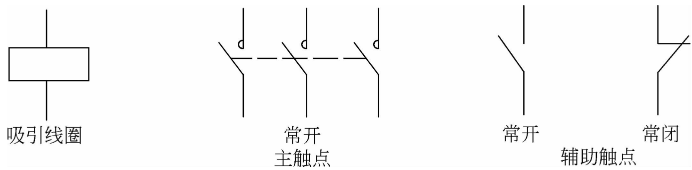


图 1-40　交流接触器的图形符号

常用的 CJX 系列部分交流接触器外形图和触点系统如图 1-41 所示。



图 1-41　常用的 CJX 系列部分交流接触器外形图和触点系统

a）CJX 系列部分交流接触器外形图　b）CJX1-9/22 型交流接触器触点系统

1.3.2　固态继电器

1. 概述

固态继电器（Solid state relays，SSR）是采用固态半导体元件组装而成的一种无触点开关。它利用电子元器件的电、磁和光特性来完成输入与输出的可靠隔离，利用大功率二极管、功率场效应管、单向晶闸管和双向晶闸管等器件的开关特性（P-N 结的单向导电性），来达到无触点、无火花地接通和断开被控电路。固态继电器与电磁式继电器相比，是一种没有机械运动，不含运动零件的继电器，但它具有与机电继电器本质上相同的功能。由于固态继电器的接通和断开无机械触点，因而具有控制功率小、开关速度快、工作频率高、使用寿命长、抗干扰能力强和动作可靠等一系列特点，使其在电气的新技术改造中得到了广泛应

用。

图 1-42a 所示为一款典型的固态继电器实物外形图。其驱动器件及其触点的图形符号和文字符号如图 1-42b 和 1-42c 所示。

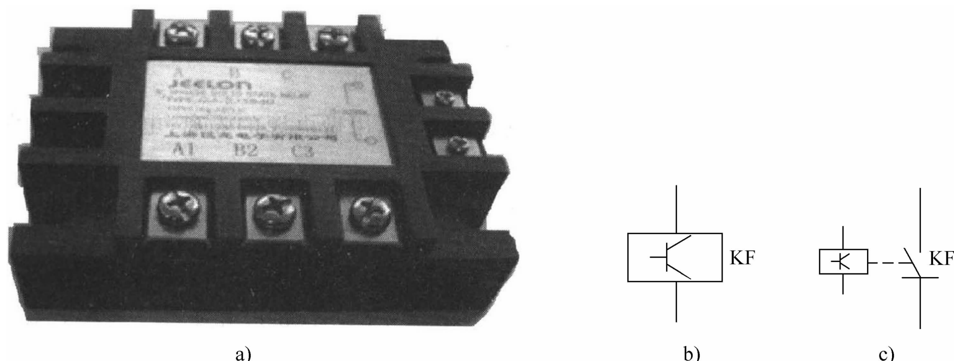


图 1-42　固态继电器外形和驱动器件及其触点的图形符号

a）实物　b）驱动器件　c）触点

2. 固态继电器的工作原理

固态继电器作为一种无触点通断电子开关的四端口有源器件，其中两个端口为输入控制端，另外两个端口为输出受控端，中间采用光电隔离，作为输入输出之间电气隔离（浮空）。在输入端加上直流或脉冲信号，输出端就能从关断状态转变成导通状态（无信号时呈阻断状态，从而控制较大负载。整个器件无可动部件及触点，可实现相当于常用的机械式电磁继电器一样的功能。光耦合式固态继电器的工作原理图如图 1-43 所示。

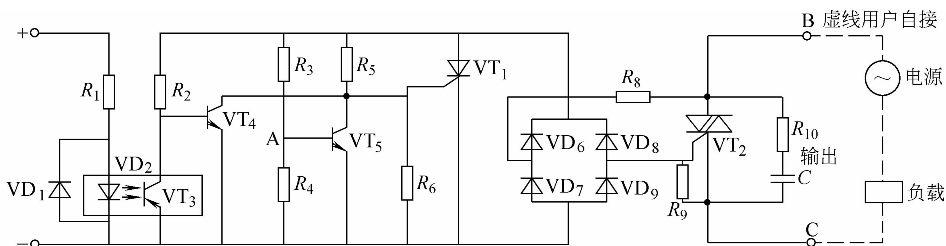


图 1-43　光耦合式固态继电器的工作原理图

SSR 按使用场合可以分成交流型和直流型两大类，它们分别在交流或直流电源上作负载的开关，不能混用。

下面以交流型的 SSR 为例来说明它的工作原理，图 1-43 是它的工作原理框图，图 1-43 中的部件 VT1、VT2、VD2、VD6 ~ VD9 构成交流 SSR 的主体，从整体上看，SSR 只有两个输入端（ + 和 - ）及两个输出端（B 和 C），是一种四端口器件。工作时只要在 + 、 - 上加上一定的控制信号，就可以控制 B、C 两端之间的“通”和“断”，实现“开关”的功能，其中耦合电路的功能是为 + 、 - 端输入的控制信号提供一个输入/输出端之间的通道，但又在电气上断开 SSR 中输入/输出端之间的（电）联系，以防止输出端对输入端的影响，耦合电路用的元件是“光耦合器”，它动作灵敏、响应速度高、输入/输出端之间的绝缘（耐压）

等级高；由于输入端的负载是发光二极管，这使 SSR 的输入端很容易做到与输入信号电平相匹配，在使用可直接与计算机输出接口相接，即受“1”与“0”的逻辑电平控制。触发电路的功能是产生合乎要求的触发信号，驱动开关电路（VT2）工作，但由于开关电路在不加特殊控制电路时，将产生射频干扰并以高次谐波或尖峰等污染电网，为此特设“过零控制电路”。所谓“过零”是指，当加入控制信号，交流电压过零时，SSR 即为通态；当断开控制信号后，SSR 要等待交流电的正半周与负半周的交界点（零电位）时，SSR 才为断态。这种设计能防止高次谐波的干扰和对电网的污染。吸收电路（R_{10}和 C）是为防止从电源中传来的尖峰、浪涌（电压）对开关器件双向晶闸管的冲击和干扰（甚至误动作）而设计的，一般是用“RC”串联吸收电路或非线性电阻（压敏电阻器）。

直流型的 SSR 与交流型的 SSR 相比，无过零控制电路，也不必设置吸收电路，开关器件一般用大功率开关三极管，其他工作原理相同。不过，直流型 SSR 在使用时应注意：

①负载为感性负载时，如直流电磁阀或电磁铁，应在负载两端反向并联一只二极管以吸收电磁能，极性要正确，二极管的电流应等于工作电流，电压应大于工作电压的 4 倍。

②SSR 工作时应尽量把它靠近负载，其输出引线应满足负荷电流的需要。

③使用电源属经交流降压整流所得的，其滤波电解电容应足够大。

由于固态继电器是由固体元件组成的无触点开关元件，所以与电磁继电器相比具有工作可靠、寿命长，对外界干扰小，能与逻辑电路兼容、抗干扰能力强、开关速度快和使用方便等一系列优点，因而具有很宽的应用领域，有逐步取代传统电磁继电器之势，并可进一步扩展到传统电磁继电器无法应用的计算机等领域。目前，国内已有北京先锋公司电子厂、上海超诚电子技术研究所、上海中沪电子仪器厂、无锡康裕电气元件厂、无锡天豪电子仪器设备厂、苏州无线电元件一厂等单位生产此类产品。

固态继电器以触发形式，可分为零压型（Z）和调相型（P）两种。在输入端施加合适的控制信号 V_{in}时，P 型 SSR 立即导通。当 V_{in}撤销后，负载电流低于双向晶闸管维持电流时（交流换向），SSR 关断。

Z 型 SSR 内部包括过零检测电路，在施加输入信号 V_{in}时，只有当负载电源电压达到过零区时，SSR 才能导通，并有可能造成电源半个周期的最大延时。Z 型 SSR 关断条件同 P 型，但由于负载工作电流近似正弦波，高次谐波干扰小，所以应用广泛。

3. 固态继电器的种类

固态继电器是四端口器件，共中两端口为输入端，两端口为输出端，中间采用隔离器件，以实现输入与输出之间的隔离。

1）按切换负载性质分，有直流固态继电器和交流固态继电器。

2）按输入与输出之间的隔离分，有光电隔离固态继电器和磁隔离固态继电器。

3）按控制触发信号方式分，有过零型和非过零型、有源触发型和无源触发型。

4. 固态继电器的优缺点

固态继电路的主要优点是：

（1）高寿命，高可靠性

SSR 由固态器件完成触点功能，但没有机械零部件。由于没有运动的零部件，因此能在高冲击与振动的环境下工作。由于组成固态继电器的元器件的固有特性，决定了固态继电器的寿命长，可靠性高。

（2）灵敏度高，控制功率小，电磁兼容性好

固态继电器的输入电压范围较宽，驱动功率低，可与大多数逻辑集成电路兼容，而不需加缓冲器或驱动器。

（3）转换速度快

固态继电器由于采用固体器件，切换速度可从几毫秒至几微妙。

（4）电磁干扰小

固态继电器没有输入“线圈”，没有触点燃弧和回跳，因而减少了电磁干扰。大多数交流输出固态继电器是一个零电压开关，在零电压处导通，零电流处关断，减少了电流波形的突然中断，从而减少了开关瞬态效应。

尽管固态继电器有众多优点，但与传统的继电器相比，仍有其不足之处。如漏电流大、接触电阻大、触点单一、使用温度范围窄、过载能力差及价格偏高等，在使用中需要有可靠的保护设施。

1.3.3 电磁执行电器

常用的电磁执行电器主要有电磁铁、电磁阀、电磁离合器和电磁制动器，其性能的好坏可直接影响到机电设备各种运动功能和性能的实现。

1. 电磁铁

电磁铁是利用通电的线圈在铁心中产生的电磁吸力来吸引衔铁或钢铁零件，即把电磁能转换为机械能，带动机械装置完成一定的动作。如接触器、继电器及电磁吸盘等均利用电磁铁实现其功能。

电磁铁主要由励磁线圈、铁心和衔铁三部分组成，其结构图如图 1-44 所示，当励磁线圈通以电流后，铁心被磁化而产生电磁吸力，吸引衔铁动作。

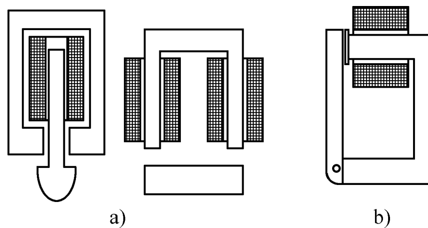


图 1-44　电磁铁的结构图

a）直动式　b）转动式

根据励磁电流的不同，电磁铁分为直流电磁铁和交流电磁铁。电磁铁的主要技术数据有额定行程、额定吸力、额定电压等。选用电磁铁时应该考虑这些技术数据，即额定行程应满足实际所需机械行程的要求；额定吸力必须大于机械装置所需的起动吸力。电磁铁的表示符号如图 1-45a 所示。

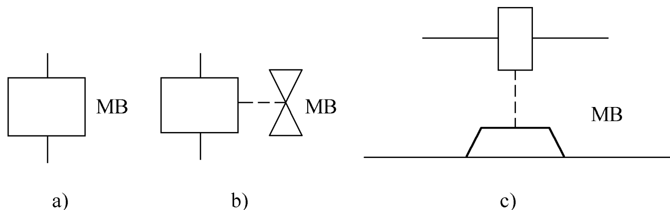


图 1-45　电磁执行电器的表示符号

a）电磁铁　b）电磁阀　c）电磁制动器

2. 电磁阀

当控制系统中负载惯性较大，所需功率也较大时候，一般用液压或气压控制系统。电磁

阀是此类系统的主要组成部分。

电磁阀一般由吸入式电磁铁以及液压阀（阀体、阀心和油路系统）两部分组成。其基本工作原理为：当电磁铁线圈通/断电时，衔铁吸合或释放，由于电磁铁的动铁心与液压阀的阀心连接，就会直接控制阀芯位移，来实现液体的流通、切断和方向变换，操作机构动作，如气缸的往返、马达的旋转、油路系统的升压、卸荷和其他工作部件的顺序动作等，其结构如图 1-46a 所示。

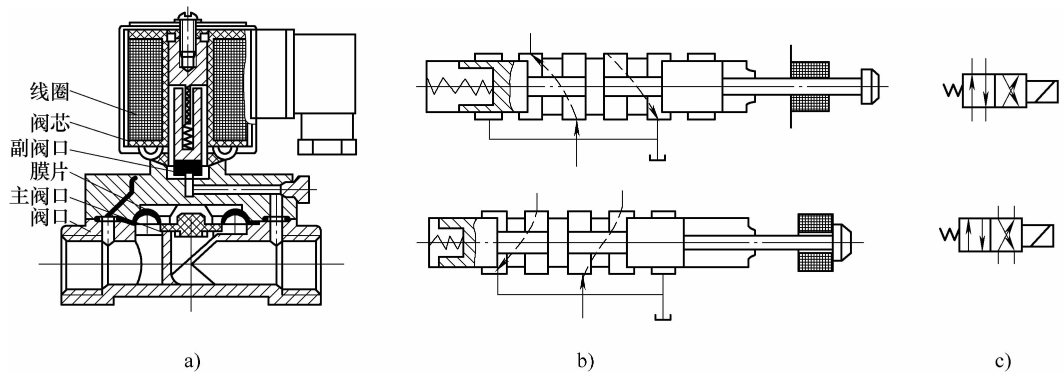


图 1-46　电磁阀结构和图形符号

a）电磁阀一般结构［通电开型（常闭型）］ b）二位四通电磁阀结构　c）图形符号

电磁阀一般无辅助触点，需借助中间继电器传递逻辑关系。电磁阀的结构性能通常用其“位置”数和“通路”数表示，“位”是指滑阀位置，“通”是指流体的通道数，常用的有两位三通、两位四通、三位五通等。一般电磁阀的表示符号如图 1-45b 所示。两位四通电磁阀结构图如图 1-46b 所示；两位四通电磁阀的图形符号如图 1-46c 表示。

在气动或液动的系统中，与电磁阀配套使用的几种常见液压元件的图形符号如图 1-47 所示。它们是组成电液（气）控制系统的常用器件。

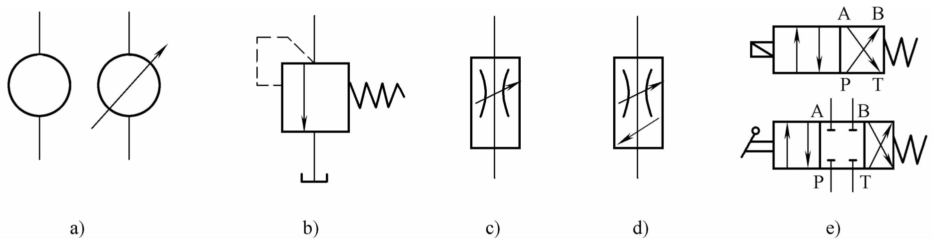


图 1-47　几种常见液压元件的图形符号

a）液压泵　b）溢流阀　c）节流阀　d）调速阀　e）换向阀

3. 电磁离合器

电磁离合器的作用是将执行机构的力矩（或功率）从主动轴一侧传到从动轴一侧。它广泛用于各种机构（如机床中的传动机构和各种电动机机构），以实现快速起动、制动、正反转或调速等功能。由于它易于实现远距离控制，和其他机械式、液压式或气动式离合器相比其操纵要简化得多，所以它是自动控制系统中一种重要的元件。

按电磁离合器的工作原理分，其形式主要有摩擦片式、牙嵌式、磁粉式或感应转差式

等。摩擦片式电磁离合器的结构图如图 1-48 所示。其工作原理如下：

在主动轴的花键轴上装有主动摩擦片，它可沿花键轴自由移动，同时又与主动轴花键连接，所以主动摩擦片可随主动轴一起旋转。从动摩擦片与主动摩擦片交替叠装，其外缘凸起部分卡在与从动齿轮固定在一起的套筒内，因此可随从动齿轮一起旋转，在主动、从动摩擦片未压紧之前，主动轴旋转时它不转动。

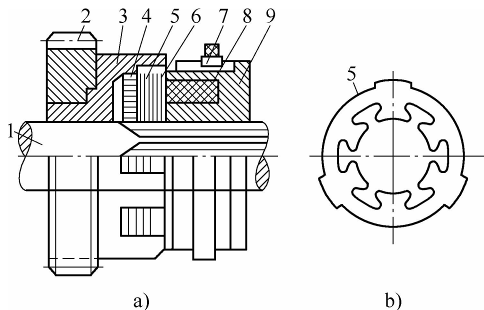


图 1-48　摩擦片式电磁离合器的结构图
a）结构示意图　b）从动摩擦片示意图
1—主动轴　2—主从动齿轮　3—主套筒　4—主衔铁
5—从动摩擦片　6—主动摩擦片　7—集电环
8—线圈　9—铁心

当电磁线圈通入直流电产生磁场后，在电磁力的作用下，主动摩擦片与衔铁克服弹簧反力被吸向铁心，并将各摩擦片紧紧压住，依靠从动摩擦片与主动摩擦片之间的摩擦力，使从动摩擦片随主动摩擦片旋转，同时又使套筒及从动齿轮随主动轴旋转，实现了力矩的传递。

当电磁离合器线圈断电后，装在主动、从动摩擦片之间的圈状弹簧使衔铁和摩擦片复位，离合器便失去传递力矩的作用。

4. 电磁制动器

制动器是机电设备的重要部件之一，它既是工作装置又是安全装置。根据制动器的不同构造可分为块式制动器、盘式制动器、多盘式制动器、带式制动器、和圆锥式制动器等。根据操作情况不同又分为常闭式、常开式和综合式。根据动力不同，又可分为电磁制动器和液压制动器。

常闭式双闸瓦制动器具有结构简单、工作可靠的特点，平时常闭式制动器抱紧制动轮，当设备工作时才松开，这样无论在任何情况下停电闸瓦都会抱紧制动轮。

（1）短行程电磁式制动器

图 1-49 为短行程电磁制动器的工作原理图。制动器借助主弹簧，通过框形拉板使左右制动臂上的制动瓦块压在制动轮上，借助制动轮和制动瓦块之间的摩擦力来实现制动。制动器松闸借助于电磁铁。当电磁铁线圈通电后，衔铁吸合，将顶杆向右推动，制动臂带动制动瓦同时离开制动轮。在松闸时，左制动臂在电磁铁自动作用下向左倾斜，制动瓦块也离开了制动轮。为防止制动臂倾斜过大，可用调节螺钉来调整制动臂的倾斜量，以保证左右制动瓦块离开制动轮的间隙相等，副弹簧的作用是把右制动臂向右倾斜，防止在松闸时，整个制动器向左倾斜而造成右制动瓦块离不开制动轮。

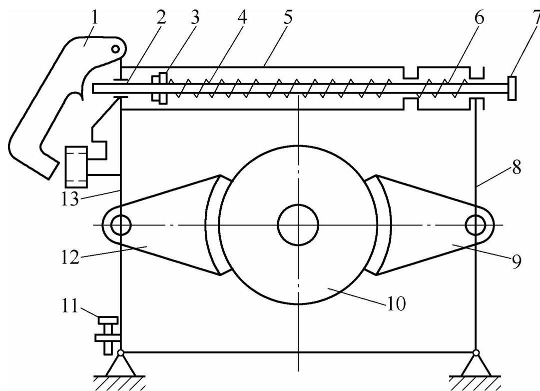


图 1-49　短行程电磁式制动器
1—电磁铁　2—顶杆　3—锁紧螺母　4—主弹簧　5—框形拉板
6—副弹簧　7—调整螺母　8、13—制动臂　9、12—制动瓦块
10—制动轮　11—调控螺钉

短行程电磁式制动器动作迅速、结

构紧凑、自重小；绞链比长行程式少；制动瓦块与制动臂绞链连接，制动瓦与制动轮接触和磨损均匀。但由于行程小、制动力矩小，多用于制动力矩不大的场合。

（2）长行程电磁式制动器

当机构要求有较大的制动力矩时，可采用长行程制动器。由于驱动装置和产生制动力矩的方式不同，又分为重锤式长行程电磁铁、弹簧式长行程电磁铁、液压推杆式长行程及液压电磁铁等双闸瓦制动器。

图 1-50 为长行程电磁式制动器的工作原理图。它通过杠杆系统来增加上闸力。其松闸通过电磁铁 5 产生电磁力经杠杆系统实现，紧闸借助弹簧力通过杠杆系统实现。当电磁线圈通电时，水平杠杆抬起，带动螺杆 4 向上运动，使杠杆板 3 绕轴逆时针方向旋转，压缩制动弹簧 1，在螺杆 2 与杠杆作用下，两个制动臂带动制动瓦 7 左右运动而松开。当电磁铁线圈断电时，靠制动弹簧的张力使制动闸瓦闸住制动轮 6。上述两种电磁式制动器的结构都简单，能与它控制的机构用电动机的操作系统联锁，当电动机停止工作或发生停电事故时，电磁铁自动断电，制动器抱紧，实现安全操作。但电磁铁吸合时冲击大，有噪声，且机构需经常起动、制动，电磁铁易损坏。

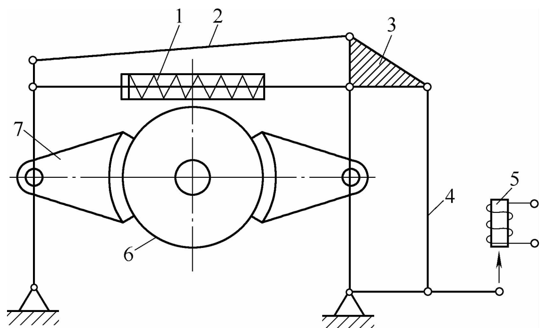


图 1-50　长行程电磁式制动器

1—压缩制动弹簧　2、4—螺杆　3—杠杆板
5—电磁铁　6—制动轮　7—制动瓦

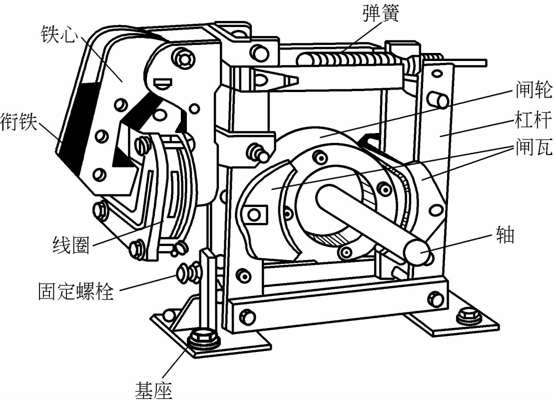


图 1-51　电磁制动器的应用示意图

与短行程电磁式制动器相比，由于长行程电磁制动器采用三相电源，制动力矩大，工作较平稳可靠，制动时自振小。连接方式与电动机定子绕组连接方式相同，有三角形连接和星形连接。

电磁制动器的应用示意图如图 1-51 所示；其表示符号如图 1-45c 所示。

1.4　保护电器

机床电气控制中除了使用操作控制电器外，还必须有安全可靠的保护电器，常用的有熔断器，热继电器、电流和电压继电器，智能保护器，漏电保护器等。

1.4.1　熔断器

熔断器（FU）是一种在短路或严重过载时利用熔化作用而切断电路的保护电器，熔断器主要由熔体（俗称保险丝）和安装熔体的熔管两部分组成。熔体由易熔金属材料铅、锡、锌、银、铜及其合金制成，通常做成丝状或片状，熔体既是敏感元件又是执行元件。熔断器

的熔体与被保护的电路串联，当电路正常工作时，熔体允许通过一定大小的电流而不熔断。当电路发生短路或严重过载时，熔体中流过很大的故障电流，当电流产生的热量达到熔体的熔点时，熔体熔断，电路被切断，从而实现保护目的。熔管是装熔体的外壳，由陶瓷、绝缘钢纸或玻璃纤维制成，在熔体熔断时兼有灭弧作用。熔断器种类很多，常见的有瓷插式、螺旋式、封闭管式和自复式等，如图 1-52 所示。

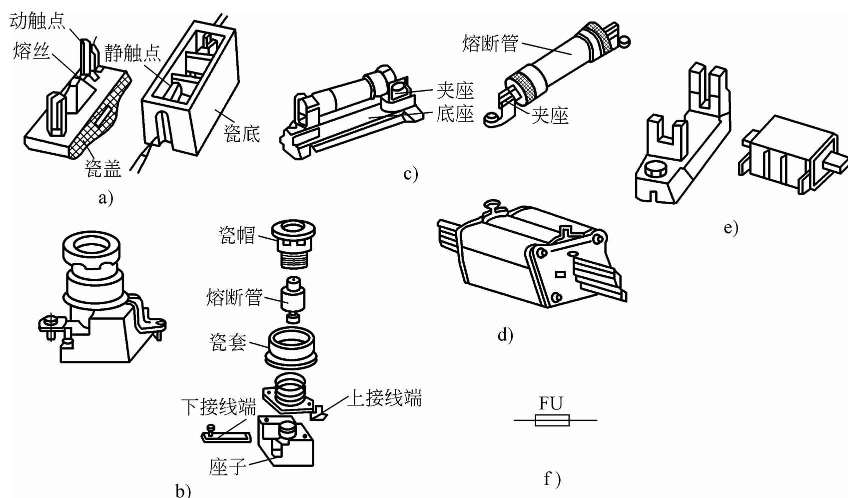


图 1-52　常用的部分熔断器的结构图

a）RC1A 系列瓷插式　b）RL1 系列螺旋式　c）RM 系列无填料封闭管式　d）RTO 系列有填料封闭管式　e）NT 系列有填料封闭管式　f）符号

RT18 系列熔断器的外形图如图 1-53 所示。

选择熔断器时主要参考其额定电压、熔断器额定电流等级和熔体的额定电流。对没有冲击电流的电路，熔体的额定电流应稍大于电路工作电流，对有冲击电流的电路，熔体的额定电流应取为最大电流的 0. 4 倍。

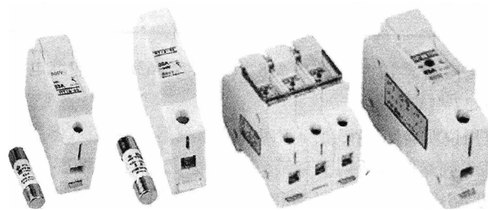


图 1-53　RT18 系列熔断器的外形图

1. 4. 2　热继电器

热继电器（KR 或 FR）是利用电流热效应原理进行动作的一种保护电器，它在电路中主要用于过载保护。电动机具备一定的过载能力，在实际运行中，只要过载不严重，时间较短，温升不超过容许值，电动机仍能工作。若过载严重，时间长，使电动机温升过高，会老化绕组绝缘，严重时还会使绕组烧毁，因此连续工作制的电动机工作时都需要有过载保护装置。但热继电器有惯性、对短时间大电流不会立即动作、不能用于短路保护。热继电器种类很多，应用最广泛的是基于双金属片的热继电器，其外形及结构如图 1-54 所示，主要由驱动器件（热元件）、双金属片和触头三部分组成。热继电器的常闭触点串联在被保护的二次回路中，它的热元件由电阻值不高的电热丝或电阻片绕成，串联在电动机或其他用电设备的主电路中。靠近热元件的双金属片，是用两种不同膨胀系数的金属用机械辗压而成的，为热继电器的感测元件。热继电器中双金属片与加热元件串接在接触器负载端（电动机电源端）的主回路中。当电动机正常运行时，热元件产生的热量虽能使双金属片弯曲，但还不足以使

继电器动作。当电动机过载时，流过热元件的电流增大，热元件产生的热量增加，使双金属片产生的弯曲位移增大，主双金属片推动导板，并通过补偿双金属片与推杆将触点（即串接在接触器线圈回路的热继电器常闭触点）分开，以切断电路保护电动机。

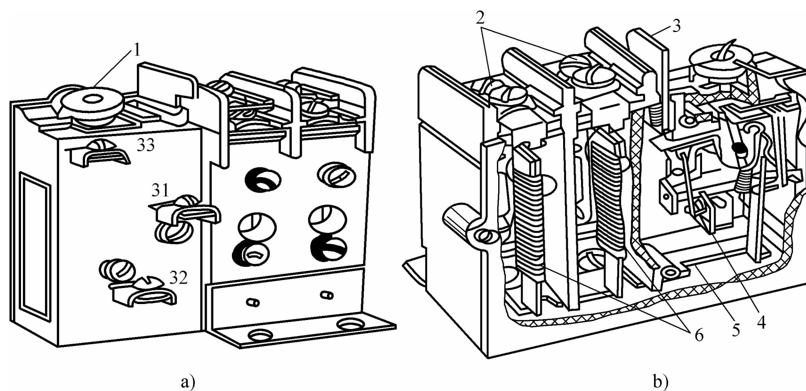


图 1-54　热继电器的外形和结构图

a）外形　b）结构图

1—电流整定装置　2—主电路接线柱　3—复位按钮　4—常闭触头　5—动作机构　6—热元件

31—常闭触头接线柱　32—公共动触头接线柱　33—常开触头接线柱

为防止机床的拖动电动机在缺相故障情况下运行而烧坏电动机，对重要负荷通常还采用带有缺相保护设施的热继电器。热继电器的结构原理如图 1-55 所示。带有缺相保护设施的热继电器的结构原理如图 1-56 所示。热继电器的图形及文字符号如图 1-57 所示。热继电器的选择主要是根据电动机的额定电流来确定型号与规格，热继电气元件的额定电流应接近或略大于电动机的额定电流。在一般情况下，可选用两相结构的热继电器。在恶劣工作环境可选用三相结构的热继电器。

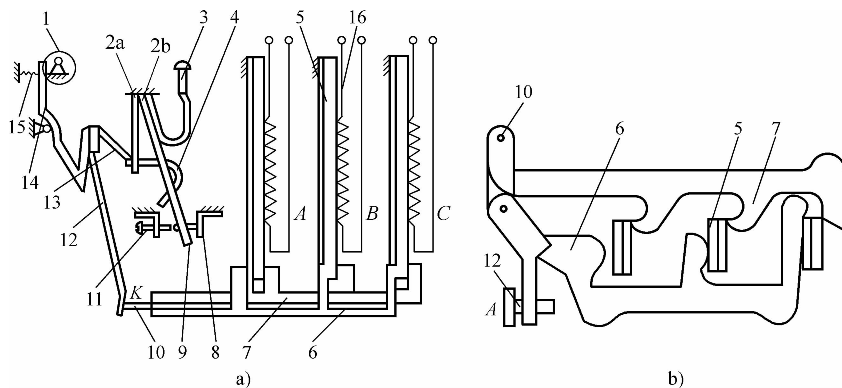


图 1-55　热继电器的结构示意图

a）结构原理示意图　b）差动式断相保护示意图

1—电流条件凸轮　2—2a/2b 簧片　3—手动复位机构　4—弓簧　5—主双金属片　6—外导板　7—内导板

8—常闭触头　9—静触头　10—杠杆　11—复位条件螺钉　12—补偿双金属片　13—推杆

14—连杆　15—压簧　16—热元件

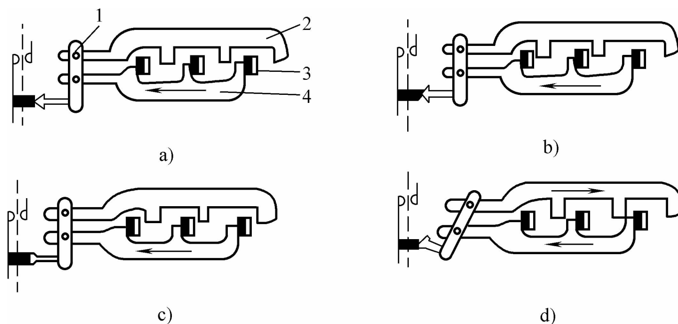


图 1-56　带有缺相保护热继电器的结构示意图
a）断电　b）正常运行　c）过载　d）单相断相
1—杠杆　2—上导板　3—双金属片　4—下导板

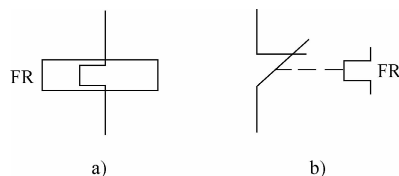


图 1-57　热继电器的图形符号
a）热元件　b）常闭触头

JRS 系列部分热继电器的外形图及其触点系统如图 1-58 所示。

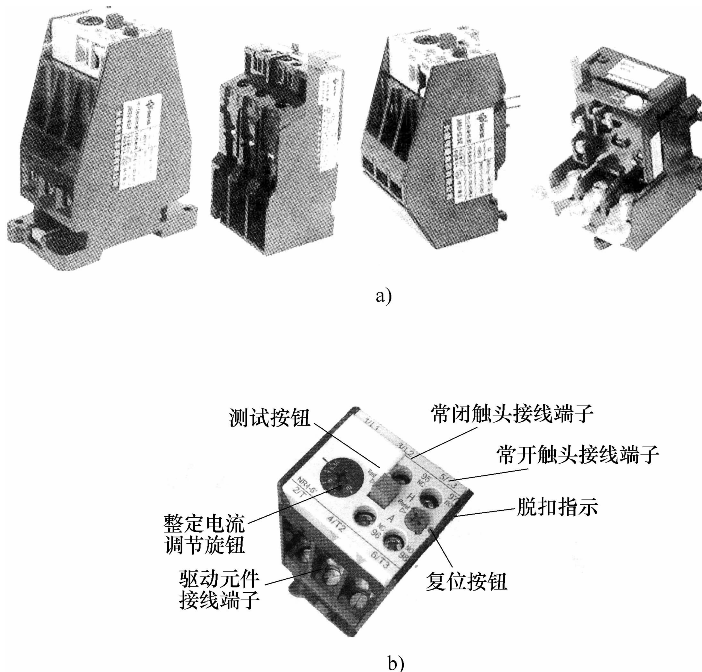


图 1-58　JRS 系列部分热继电器的外形图及其触点系统
a）JRS 系列部分热继电器的外形图　b）JRS2-63/F 型热继电器的触点系统

1.4.3　电流和电压继电器

电流继电器的作用是反映电路中电流的变化，需将其线圈串在被测电路中，为不影响电路正常工作，要求线圈的匝数少、导线粗、阻抗小。电压继电器的作用是反映电路中电压的变化，和电流继电器相比其线圈要并联在被测电路，故要求线圈的匝数多、导线细。

电流和电压继电器主要用于保护电路中，按其用途又可分为过电流和过电压继电器和欠电流和欠电压继电器。前者是电流或电压超过规定值时衔铁吸合，后者是电流或电压低于规定值时衔铁释放。电磁式电流和电压继电器的结构分别如图 1-59 和图 1-60 所示。其图形符号如图 1-61 所示。

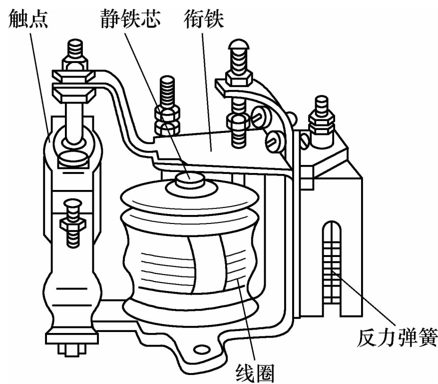


图 1-59　电流式继电器的结构

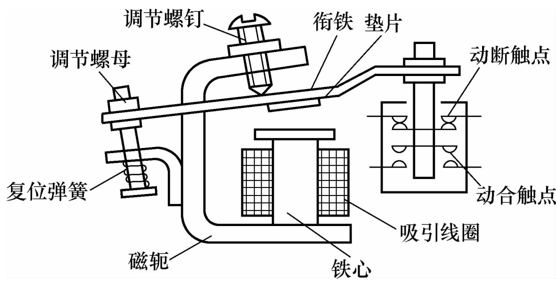


图 1-60　电压式继电器的结构

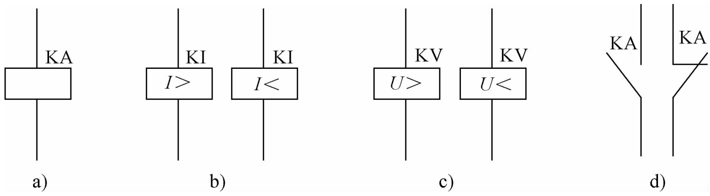


图 1-61　电流和电压继电器的图形符号

a）一般线圈　b）电流继电器线圈　c）电压继电器线圈　d）触头

根据输入（线圈）电流大小而动作的继电器称为电流继电器。按用途还可分为过电流继电器和欠电流继电器。过电流继电器的任务是当电路发生短路及过流时立即将电路切断，因此过流继电器线圈流过小于整定电流时继电器不动作，只有超过整定电流时，继电器才动作。过电流继电器的动作电流整定范围，交流过流继电器为（110% ~350%）I_N；直流过流继电器为 70% ~300%）I_N。欠电流继电器的任务是当电路电流过低时立即将电路切断，因此欠电流继电器线圈通过的电流大于或等于整定电流时，继电器吸合，只有电流低于整定电流时，继电器才释放。欠电流继电器动作电流整定范围，吸合电流为（30% ~50%）I_N，释放电流为（10% ~20%）I_N，欠电流继电器一般是自动复位的。

与此类似，电压继电器是根据输入电压大小而动作的继电器，过电压继电器动作电压整定范围为（105% ~120%）U_N，欠电压继电器吸合电压调整范围为（30% ~50%）U_N，释放电压调整范围为（7% ~20%）U_N。

电流（压）继电器选用时主要依据继电器所保护或所控制对象对继电器提出的要求，如触头的数量、种类，返回系数，控制电路的电压、电流、负载性质等。由于继电器触头容量小，所以经常将触头并联使用。有时增加触头的分断能力，也可以把触头串联起来使用。

1.4.4　智能保护器

电气设备智能保护器是最近十多年才发展起来的一种新型电子式多功能综合保护装置。它集过（轻）载、缺相、过（欠）电压、堵转、漏电、接地及三相不平衡保护等低压保护于一身，具有设定精度高、节电、动作灵敏、工作可靠等优点，是传统继电器保护的理想替代产品。其外形结构如图 2-62 所示。



图 1-62　智能保护器外形结构

智能保护器的核心部件一般采用国外最新型的八位或十六位单片机。其中使用十六位单片机的产品较采用八位单片机的产品，在技术上有了更大的进步。它们具有抗干扰能力强、工作更稳定、精度更高、保护参数设定更简便和数字化、智能化、网络化等特点，基本可以满足各个层次不同行业用户的要求，因而在电气控制等工业电动机及三相电力拖动系统，得到了广泛应用。

智能保护器，特别是具有 RS-485 远程通信接口的新型产品，支持 MODBUSRTU、PROFIBUS-DP 协议和 4 ~ 20mA 模拟量输出接口，可方便地和数控系统及后台机组成网络系统。从而实现运行状态监视和历史数据查询，成为现在保护控制产品的主流。它是由电流传感器、比较电路、单片机、出口继电器等几个部分组成。其基本原理及工作过程如图 1-63 所示。

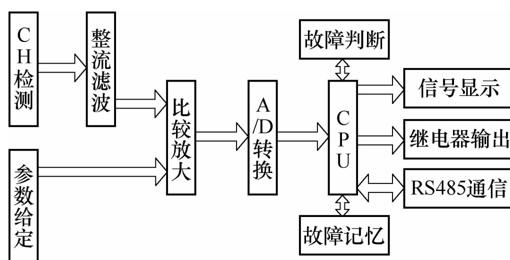


图 1-63　保护器工作原理

传感器将电气设备的电流变化线性地反映至保护器的采集端口，经过整流、滤波等环节后，转换成与电气设备的电流成正比的直流电压信号，送到相应部分与给定的保护参数进行比较处理，再经单片机回路处理，推动功率回路，使继电器动作。当电气设备由于驱动部分过载导致电流增大时，从电流传感器取得的电压信号将增大，此电压值大于保护器的整定值时，过载回路工作，RC 延时电路经过一定的（可调）延时，驱动出口继电器动作，使接触器切断主电路。欠电压及缺相保护等功能部分的工作原理也大体相同。

目前，国内广泛使用的智能保护器产品主要有 JDB-2K 系列、JDB-YR 系列等。

1.4.5　漏电保护器

自人类用电以来，“电”给人类带来了很多方便，但也能够给人类带来灭顶之灾。当使用不当时，它可能会烧坏设备，引起火灾；或者使人触电，危及人的生命安全。如果有一种设备可以保障人们安全地用电，将会避免很多不必要的损失。所以在五花八门的电器接踵而来的同时，也诞生了各式各样的保护电器。其中有一种是专门保护人身安全的，称为漏电保护器。漏电保护器又称漏电保护开关，是一种新型的电气安全装置，在两网改造中，大量使用了剩余电流动作漏电保护器。其主要用途是：

1）防止由于电气设备和电路漏电引起的触电事故。

2）防止用电过程中的单相触电事故。

3）及时切断电气设备运行中的单相接地故障，防止因漏电引起的电气火灾事故。

4）随着工农业生产的发展和人们生活水平的日益提高，工业用电和家用电器不断增加，在用电过程中，由于电气设备本身的缺陷、使用不当和安全技术措施不利而造成的人身触电和火灾事故，会给人民的生命和国家财产带来了不应有的损失，而漏电保护器的出现，对预防各类事故的发生，及时切断电源，保护设备和人身安全，提供了可靠而有效的技术手段。

在了解触电保护器的主要原理前，有必要先了解一下什么是触电。触电是指有较强电流通过了人体，如图 1-64 所示。当人手触摸电线并形成一个电流回路的时候，人身上就有电流通过；当流过人体的电流足够大时，就能够被人感觉到以至于形成危害。当触电已经发生的时候，就要求在最短的时间内切除电流，比如说，如果通过人的电流是 50mA 的时候，就要求在 1s 内切断电流；如果是 500mA 的电流通过人体，那么时间限制是 0.1s；否则将会危及人的生命安全。

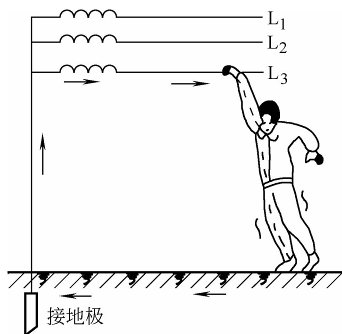


图 1-64　人体触电示意图

图 1-65 是简单的漏电保护装置的原理图。从图中可以看到漏保护装置安装在电源线进户处，也就是电度表的附近，接在电度表的输出端即用户端侧。图中把所有的用电电器用一个电阻 R_L 替代，用 R_N 替代接触者的人体电阻。

图中的 CT 表示“电流互感器”，它是利用互感原理测量交流电流用的，所以叫“互感器”，实际上是一个变压器。它的一次线圈是进户的交流线，把两根线当作一根线并起来构成一次线圈。二次线圈则接到“舌簧继电器”SH 的线圈上。

“舌簧继电器”是在舌簧管外面绕上线圈，当线圈里通电的时候，电流产生的磁场使得舌簧管里面的簧片电极吸合，来接通外电路。线圈断电后簧片释放，外电路断开。总而言之，这是一个灵巧实用的继电器。原理图中开关 DZ 不是普通的开关，它是一个带有弹簧的开关，当人克服弹簧力把它合上以后，要用特殊的钩子扣住它才能够保证处于通的状态；否则一松手就又断了。

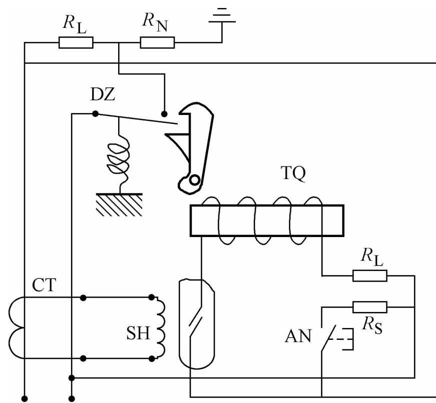


图 1-65　漏电保护装置原理图

舌簧继电器的簧片电极接在“脱扣线圈”TQ 电路里。脱扣线圈是个电磁铁的线圈，通过电流就产生吸引力，这个吸引力足以使上面说的钩子解脱，使得 DZ 立刻断开。因为 DZ 就串在用户总电线的火线上，所以脱了扣就断了电，触电的人就得救了。

不过，漏电保护器之所以可以保护人，首先它要“意识”到人触了电。那么漏电保护器是怎样知道人触电了呢？从图中可以看出，如果没有触电的话，电源来的两根线里的电流肯定在任何时刻都是一样大的，方向相反。因此 CT 的一次侧线圈里的磁通完全地消失，二次侧线圈没有输出。如果有人触电，相当于火线上有经过电阻，这样就能够连锁导致副边上有电流输出，这个输出就能够使得 SH 的触电吸合，从而使脱扣线圈得点，把钩子吸开，开

关 DZ 断开，从而起到了保护的作用。

值得注意的是，漏电保护器一旦脱了扣，即使脱扣线圈 TQ 里的电流消失也不会自行把 DZ 重新接通。因为没人帮它合上是无法恢复供电的。触电者离开，经检查无隐患后想再用电，需把 DZ 合上使其重新扣住，便恢复了供电。

目前电器市场上漏电保护器的种类品牌繁多，其外型图如图 1-66 所示，漏电保护关系人的生命安全，使用中一定要注意选择。



图 1-66　漏电保护器的外型图

1.5　电气控制中常用的其他器件

1.5.1　常用检测仪表

单位时间内连续变化的信号称为模拟量信号，如流量、压力、温度、位移等。用于检测模拟量信号的仪器仪表一般在过程控制系统中使用较多；但在电气与 PLC 控制系统中也少不了这些器件和设备，只不过不像在过程控制系统中那样大量地集中使用而已。为此，适当了解一些常用检测仪表的知识对本课程也是必要的。

1. 变送器

几乎所有的能输出标准信号（1～5V 或 4～20mA）的测量仪器都是由传感器加上变送器组成的。传感器用来直接检测各种具体的物理量的信号，变送器则把这些形形色色的工艺变量（如温度、流量、压力、物位等）信号交换成控制器或控制系统能够使用的统一标准的电压或电流信号。变送器基于负反馈原理设计，它包括测量部分、放大器和反馈部分，其构成原理如图 1-67a 所示。

测量部分用以检测被测变量 x，并将其转换成能被放大器接收的输入信号 z_i（电压、电流、位移、作用力或力矩等信号）。反馈部分则把变送器的输出信号 y 转换成反馈信号 z_f，再送回到输入端。z_i 与调零信号 z_0 的代数和与反馈信号 z_f 进行比较，其差值送入放大器进行放大，并转换成标准输出信号 y。由图 1-67a 可以求得变送器输出与输入之间的关系为

$$y = \frac{K}{1 + KF}(Cx + z_0) \tag{1-1}$$

式中，K 为放大器的放大系数；F 为反馈部分的反馈系数；C 为测量部分的转换系数。

从式（1-1）中可以看出，在满足深度负反馈 $KF >> 1$ 的条件下，变送器输出与输入之间的关系取决于测量部分和反馈部分的特性，而与放大器的特性几乎无关。如果转换系数 C 和反馈系数 F 为常数，则变送器的输出与输入之间将保持良好的线性关系。如图 1-67b 所示，x_{max}和 x_{min}分别为被测变量的上限值和下限值，y_{max}和 y_{min}分别为输出信号的上限值和下限值。它们与统一标准信号的上限值和下限值相对应。

现代的变送器还可以提供各种通信协议的接口，如 RS-485、PROFIBUS-PA 等。

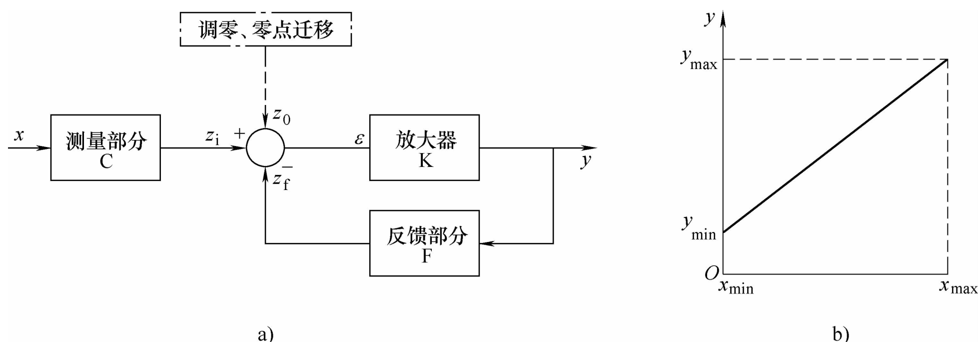


图 1-67　变送器的组成原理图和输入/输出特性

a）变送器组成原理图　b）变送器的输入/输出特性

2. 机床中常用检测仪表

（1）压力检测及变送器

根据测量原理不同，有不同的检测压力的方法。常用的压力传感器有应变片压力传感器、陶瓷压力传感器、扩散硅压力传感器和压电压力传感器等。其中陶瓷压力传感器、扩散硅压力传感器在工业上最为常用。

压力变送器可以把压力信号变换成标准的电压或电流信号。图 1-68a 所示是输出信号为电压信号的压力变送器通用符号。输出若为电流信号，可把图中文字改为 p/I，可在图中框中文字下部的空白处增加小图标表示传感器的类型。压力变送器文字符号为 BP。

（2）温度检测及变送器

各种测温方法大都是利用物体的某些物理化学性质（如物体的膨胀率、电阻率、热电势、辐射强度和颜色等）与温度具有一定关系的原理。测出这些参量的变化，就可知道被测物体的温度。测温方法可分为接触式与非接触式两大类。接触式测温方法有使用液体膨胀式温度计、热电偶、热电阻等。非接触式测温方法有光学高温计、辐射高温汁、红外探测器测温等。接触式测温简单、可靠、测量精度高；但由于达到热平衡需要一定时间，因而会产生测温的滞后现象。此外，感温元件往往会破坏被测对象的温度场，并有可能受到被测介质的腐蚀。非接触式测温是通过热辐射来测量温度的，感温速度一般比较快，多用于测量高温；但由于受物体的发射率、热辐射传递空间的距离、烟尘和水蒸气的影响，故测量误差较大。下面介绍测温中常用的热电阻和热电偶。

1）热电阻。利用金属和半导体的电阻随温度的变化规律也可以用来测量温度。其特点是准确度高，在低温下（500℃以下）测量时，输出信号比热电偶要大得多，灵敏度高。它适合的温度测量范围是 -200 ~500℃。

2）热电偶。当在两种不同种类的导线的接头（节点）上加热时，会产生温差热电势。这是金属和合金的特性，这两种不同种类的导线连接起来就成为热电偶。热电偶价格便宜、制作容易、结构简单、测温范围广、准确度高。

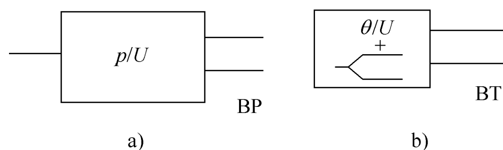


图 1-68　变送器表示符号
a）压力变送器　b）温度变送器

温度变送器接受温度传感器信号并将它转换成标准信号输出。图 1-68b 所示是输出信号为电压信号的热电偶型温度变送器，输出若为电流信号，可把图中文字改为 θ/I。其他类型变送器可更改图中方框下部的小图标。温度变送器文字符号为 BT。

1.5.2　常用安装附件

安装附件是电气控制系统的电气控制柜或配电箱中必不可少的物品。该类产品的品种很多，主要用于控制柜中元器件和导线的固定和安装。常用的安装附件如下：

（1）走线槽

由锯齿形的塑料槽和盖组成，有宽有窄等多种规格。用于导线和电缆的走线，可以使柜内走线美观、整洁，如图 1-69a 所示。

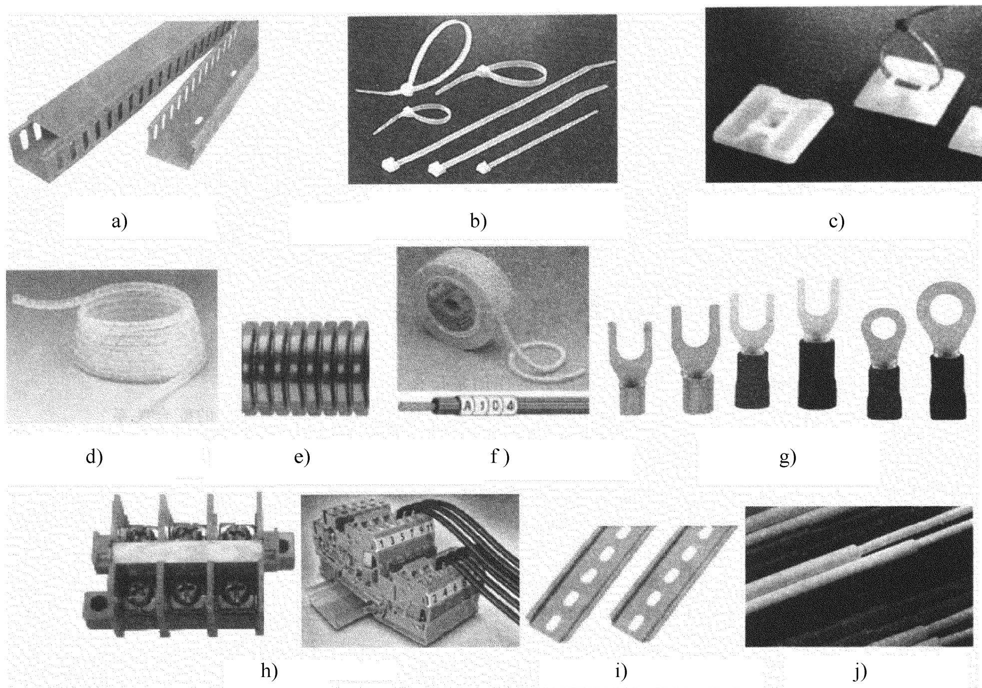


图 1-69　常用安装附件
a）走线槽　b）扎线带　c）固定盘　d）缠绕管　e）波纹管　f）配线标志管　g）接线插
h）接线端子　i）安装导轨　j）热缩管

（2）扎线带和固定盘

尼龙扎线带可以把一束导线扎紧到一起，根据长短和粗细右多种型号，如图 1-69b 所示。固定盘上面有小孔，背面有粘胶，它可以粘到其他平面物体上，用来配合扎线带的使用，图 1-69c 所示为固定盘。

（3）波纹管、缠绕管

用于控制柜中裸露出来的导线部分的缠绕或作为外套，保护导线。一般由 PVC 软质塑料制成，如图 1-69d 和图 1-69e 所示。

（4）号码管、配线标志管

空白号码管内 PVC 软质塑料制成，管、线上面可用专门的打号机打印上各种需要的符号，套在导线的接头端，用来标记导线。配线标志管则已经把各种数字或字母印在了塑料管上面，并分割成为小段，使用时可随意组合，图 1-69f 所示为配线标志管。

本 章 小 结

本章从实用的角度出发，直观、形象、简明扼要地介绍了电气控制中常用的低压电器及其图形符号。它是组成生产设备电气与 PLC 控制电路图的基础，也是分析、阅读和设计生产设备电气与 PLC 控制电路图的最基本的知识，必须熟练了解和掌握。但这种了解和掌握只是从使用的角度出发的初步了解和掌握，程度可适当放松一些，因为本章的读者对象不是针对电器件的专业设计制造人员，不是专门从事低压电器的设计者和生产制造者。广大读者能熟练了解和掌握常用的低压电器的简单工作原理和图形符号，能分析、阅读和设计生产设备电气控制电路图，会选用，会简单的故障处理和维修，就达到了学习的目的。

习题与思考题

1-1　什么是电器？什么是低压电器？从使用的角度，其分类有哪几种？

1-2　什么是信号及控制电器？常用的有哪几种？

1-3　什么是执行电器？常用的有哪几种？

1-4　什么是主令电器？常用的有哪几种？

1-5　什么是保护电器？常用的有哪几种？

1-6　什么是叫接触器？其分类、主要结构、工作原理、图形符号、用途、选用方法如何？

1-7　什么是叫继电器？其分类、主要结构、工作原理、图形符号、用途、选用方法如何？

1-8　什么是叫开关？其分类、主要结构、工作原理、图形符号、用途、选用方法如何？

1-9　什么是叫熔断器？其分类、主要结构、工作原理、图形符号、用途、选用方法如何？

1-10　在电液控制系统中，常用的液压元件有哪几种？其图形符号如何？

1-11　时间继电器的图形符号和文字符号是如何规定的？试举例说明。

1-12　什么是叫漏电断路器？它的工作原理和用途是什么？

1-13　KM、K、SB、FR、FU、KT、KS、SQ 等各代表什么电器？

1-14　电气控制中常用的检测仪表有哪些？各有什么用途？

1-15　电气控制中常用的安装附件有哪些？各有什么用途？

第 2 章　电气传动控制中最常用的三相交流异步电动机

主要内容：

（1）电气传动控制中常用交流电动机的基本结构、工作原理。

（2）电气传动控制中常用交流电动机的电磁转矩和机械特性。

（3）电气传动控制中常用交流电动机的运行控制。

学习重点及教学要求：

（1）从使用的角度重点掌握三相交流异步电动机的基本结构、工作原理。

（2）从使用的角度重点掌握三相交流异步电动机的电磁转矩和机械特性。

（3）从使用的角度重点掌握常用交流电动机的起动、调速、反转和制动等运行控制。

生产设备电气控制的组成如图 2-1 所示。

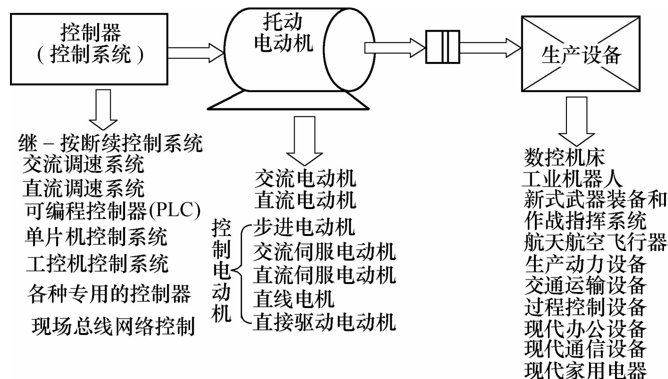


图 2-1　生产设备电气控制的组成

由图 2-1 可知，电气控制就是电动机的控制，电动机包括普通电动机和控制电动机，控制方法有继电器—接触器控制、PLC 控制、步进电动机控制、交直流调速控制、伺服驱动控制、计算机数控等。随着电力电子技术的发展，还会出现各种各样新的控制方法，这些方法将是电气控制的根基。因此，要掌握生产设备的电气与 PLC 控制，首先必须要了解和掌握生产设备中常用电动机及其拖动的基本知识。本章只介绍生产设备电气与 PLC 控制中最常用的三相交流异步电动机。

2. 1　交流异步电动机基础

交流异步电动机按照转子的结构型式分为笼型异步电动机和绕线转子异步电动机。笼型

异步电动机因具有结构简单、制造方便、价格低廉、坚固耐用、转子惯量小、运行可靠等优点，在机床中得到了极其广泛的应用。绕线转子异步电动机因其转子采用绕线方式，具有调速简单、成本低的优点，在吊车、卷扬机等中小设备中得到了广泛的应用。

2.1.1　交流异步电动机的结构组成

图 2-2 是一台三相异步电动机的结构剖析图、外形与图形符号。它主要由定子、转子两大部分构成，定子与转子之间有一定的气隙。定子是静止不动的部分，由定子铁心、定子绕组和机座组成。转子是旋转部分，由转子铁心、转子绕组和转轴组成。

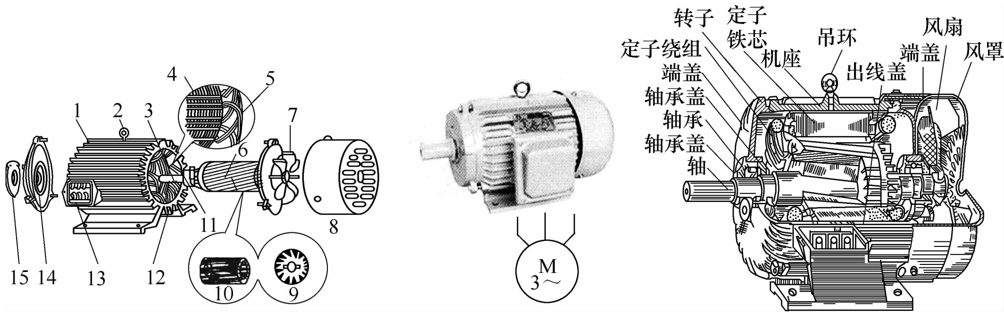


图 2-2　三相异步电动机的结构图

1—散热筋　2—吊环　3—转轴　4—定子铁心　5—定子绕组　6—转子　7—风扇　8—罩壳
9—转子铁心　10—笼型绕组　11—轴承　12—机座　13—接线盒　14—轴承盖　15—端盖

笼型电动机的转子绕组与定子绕组大不相同，它是在转子铁心槽里插入铜条。再将全部铜条焊接在两个端铜环上，如果将转子铁心拿掉，则可看出，剩下来的绕组形状就像一个笼子，如图 2-3 所示，因此叫笼型转子。对于中小功率电动机的绕组，多采用铝离心浇铸而成。

绕线转子异步电动机的转子绕组与定子绕组一样，是由线圈组成绕组放入转子铁心槽里，转子可以通过电刷和集电环外串电阻以调节转子电流的大小和相位的方式进行调速，如图 2-4 所示。笼型异步电动机不能使转子电阻改变而调速，但同绕线转子电动机相比要坚固而价廉，在机床等实际工业现场使用的电动机当中，绝大多数都是笼型异步电动机。

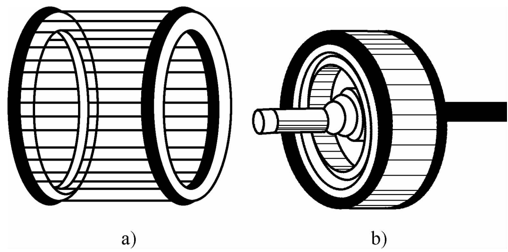


图 2-3　笼型电动机的转子结构图

a）笼型绕组　b）转子外形

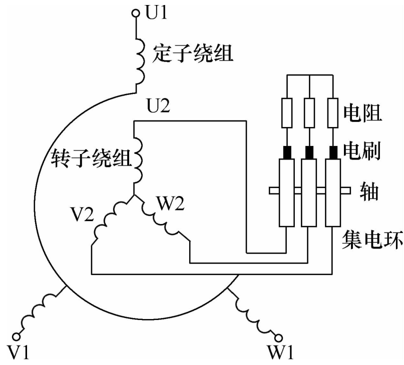


图 2-4　绕线转子异步电动机定转子绕组及外加电阻的接线方式

2.1.2 交流异步电动机的工作原理

异步电动机的工作原理如图 2-5 所示。当定子接三相对称电源后，电动机内便形成圆形旋转磁场，如图 2-6 所示。设其方向为顺时针旋转，假设速度为 n_0。若转子不转，转子笼型导条与旋转磁场有相对运动，转子导条中便感应有电动势 E，方向由右手定则确定。由于转子导条彼此在端部短路，于是导条中便有感应电流，不考虑电动势与电流的相位差时，电流方向同电动势方向。这样，载流导条就在磁场中感生电磁力 f，形成电磁转矩 T，用左手定则确定其方向，如图 2-6 所示。转子在方向与旋转磁场同方向的力 f（电磁转矩 T）的作用下，便沿着该方向跟随着旋转磁场旋转起来。

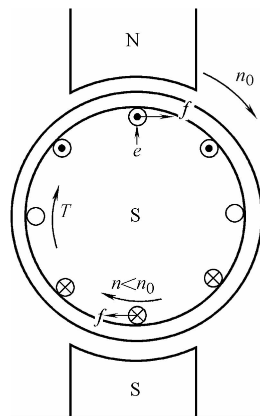


图 2-5 异步电动机的工作原理

转子旋转后，假设其转速为 n，只要 $n<n_0$，转子导条与磁场之间仍有相对运动，就产生与转子不转时相同方向的电动势、电流及受力 f，电磁转矩 T 仍为顺时针方向，转子继续旋转，最终稳定运行在电磁转矩 T 与负载转矩 T_L 相平衡的状况下。

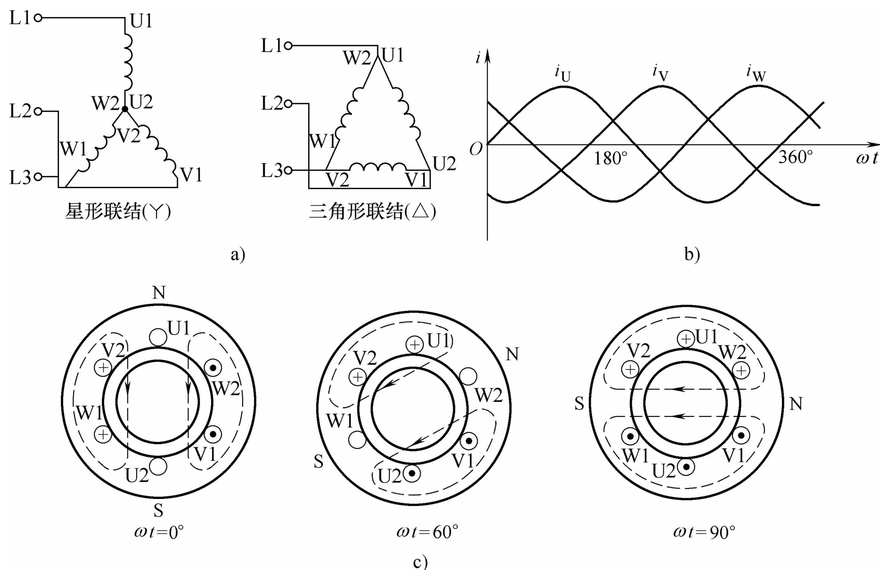


图 2-6 三相交流异步电动机圆形旋转磁场的产生

a）定子接法 b）三相对称电源波形 c）圆形旋转磁场的产生

异步电动机内部磁场的旋转速度 n_0 被称作同步转速。在电动机运行时，电动机轴输出机械功率，异步电动机的实际转速 n 总是低于旋转磁场转速 n_0，也就是说转子的旋转速度 n 总是与同步转速 n_0 不等，故异步电动机的名称由此而来。另外，由于转子电流的产生和电能的传递是基于电磁感应现象，故异步电动机又称为感应电动机。

异步电动机的同步转速 n_0 与定子绕组磁极对数 P（等于磁极数的一半）成反比，与定子侧电源频率 f_1 成正比（对于交流电动机其定子侧的物理量习惯用下标 1 或者下标 s 表示，对其转子侧的物理量习惯用下标 2 或者下标 r 表示）。故有：$n_0=60f_1/P$。

带有负载的电动机转子实际转速 n 要比电动机的同步转速 n_0 低一些，常用转差率来描述

异步电动机的各种不同运行状态。转差率 S 定义为：$S=(n_0-n)/n_0$；故近似有 $n=n_0(1-S)$。

当电动机为空载（输出的机械转矩近似为零，忽略摩擦转矩，转速近似为 n_0 时，转差率 s 近似为零。而当电动机为满负载（产生额定转矩）时，则转差率 S 一般在 1.5% ~6% 范围内。转子不转时（$n_0=0$），$S=1$。

2.1.3　交流异步电动机的铭牌

铭牌是电动机的身份证，认识和了解电动机铭牌中有关技术参数的作用和意义，可以帮助正确地选择、使用和维护它。图 2-7 是我国使用最多的 Y 系列三相感应异步电动机铭牌的一个实例。图 2-8 为皖南电动机厂某三相感应异步电动机实际铭牌。铭牌中主要包含以下内容：



图 2-7　Y 系列三相感应电动机铭牌

（1）型号

如 Y-112M-4、Y802-4，

（2）额定值

①额定功率 P_N：指电动机在额定条件下运行时，电动机轴上输出的机械功率，单位为 kW。

②额定电压 U_N：指额定条件运行状态下加在电动机定子绕组上的线电压，单位为 V。

③额定电流 I_N：指电动机在定子绕组上施加额定电压、电动机轴上输出额定功率时的线电流，单位为 A。

可以根据电动机的额定电压、电流及功率，利用三相交流电路功率计算公式计算出电动机在额定负载时定子边的功率因数 $\cos\phi$。例如图 2-7 所示铭牌的电动机在额定负载时的功率因数 $\cos\phi=4000/(3^{1/2}\times380\times8.7)=0.699$。

④额定频率 f_N：我国规定工业用电的频率是 50Hz，国外有些国家采用 60Hz。

⑤额定转速 n_N：指电动机定子加额定频率的额定电压、轴端输出额定功率时电动机的转速，单位为 r/min。可以根据额定转速与额定频率计算出电动机的极数 P 和额定转差率 S_N。



图 2-8　皖南电动机厂某三相感应异步电动机的铭牌

（3）噪声值（LW）

指电动机在运行时的最大噪声。一般电动机功率越大，磁极数越少，额定转速越高，噪声越大。

（4）工作制式

指电动机允许工作的方式，共有 S1 ~ S10 十种工作制。其中，S1 为连续工作制；S2 为短时工作制；其他为不同周期或者非周期工作制。

（5）绝缘等级

绝缘等级与电动机内部的绝缘材料有关。它与电动机允许工作的最高温度有关，共分 A、E、D、F、H 五种等级。其中 A 级最低，H 级最高。在环境温度额定为 40℃时，A 级允许的最高温升为 105℃，H 级允许的最高温升为 140℃。

（6）联结方法

三相电动机交流电动机接线端子如图 2-9 所示，有Y-△两种方式。请注意有些电动机只能固定一种接法，有些电动机可以两种切换工作。但是要注意工作电压，防止错误接线烧坏电动机。高压大、中型容量的异步电动机定子绕组常采用Y接线，只有三根引出线。对中、小容量低压异步电动机，通常把定子三相绕组的六根出线头都引出来。根据需要可接成Y或△，如图 2-10 和图 2-11 所示。另外，有一点需要说明的是，在电动机起动过程中，为了减小起动冲击电流［$I_Q = (5 \sim 7) I_N$］对于电网的影响，一种简单、实用、低成本的方法是采用如图 2-12 所示的Y-△减压起动。起动过程中用Y连接（KM_1 和 KM_3 闭合，KM_2 断开），起动过程结束后切换为△连接（KM_1 和 KM_2 闭合，KM_3 断开）运行。

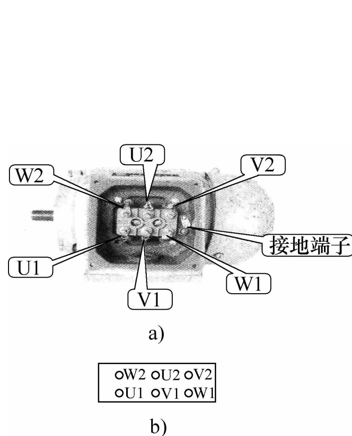


图 2-9　三相电动机交流电动机接线端

a）接线端子　b）接线端子示意图

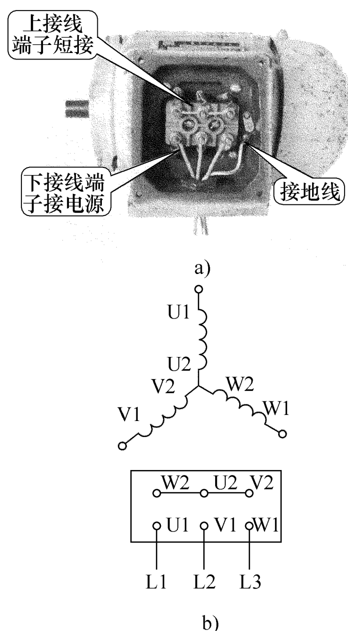


图 2-10　三相异步电动机的Y引出线

a）线端的排列　b）Y联结

（7）防护等级

IP 为防护代号，第一位数字（0 ~ 6）规定了电动机防护体的等级标准。第二位数字（0

~8）规定了电动机防水的等级标准。如 IP00 为无防护，数字越大，防护等级越高。

（8）其他

对于绕线转子电动机还必须标明转子绕组接法、转子额定电动势及转子额定电流；有些还标明了电动机的转子电阻；有些特殊电动机还标明了冷却方式等。

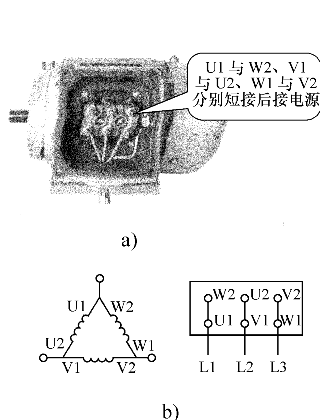


图 2-11　三相异步电动机的△引出线

a）线端的排列　b）△联结

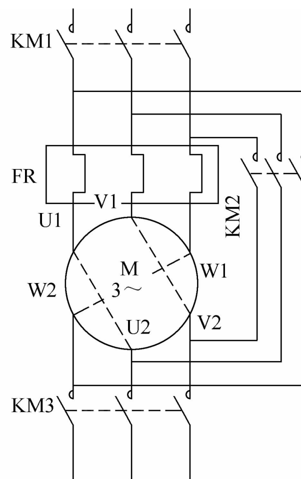


图 2-12　Y-△减压起动的接线图

2.1.4　交流异步电动机的电磁转矩与机械特性

1. 交流异步电动机的电磁转矩

电磁转矩 T（以下简称转矩）是三相异步电动机最重要的参数之一，它表征一台电动机拖动生产机械能力的大小。机械特性是它的主要特性。

从三相异步电动机的工作原理可知，三相异步电动机的电磁转矩是由于具有转子电流 I_2 的转子导体在磁场中受到电磁力 F 作用而产生的，因此电磁转矩的大小与转子电流 I_2 以及旋转磁场的每极磁通 Φ 成正比。从转子电路分析可知，转子电路是一个交流电路，它不但有电阻，而且还有漏磁感抗存在，所以转子电流 I_2 与转子感应电动势 E_2 之间有一相位差，用 φ_2 表示。于是转子电流 I_2 可分解为有功分量 $I_2\cos\varphi_2$ 和无功分量 $I_2\sin\varphi_2$ 两部分，只有转子电流 I_2 的有功分量 $I_2\cos\varphi_2$ 才能与旋转磁场相互作用而产生电磁转矩。也就是说，电动机的电磁转矩实际是与转子电流 I_2 的有功分量 $I_2\cos\varphi_2$ 成正比。综上所述，三相异步电动机的电磁转矩表达式为：

$$T = K_T \Phi I_2 \cos\varphi_2 \tag{2-1}$$

式中，K_T 为仅与电动机结构有关的常数；Φ 为旋转磁场的每极磁通；I_2 为转子电流；$\cos\varphi_2$ 为转子回路的功率因数。从电工技术中可知 I_2 和 $\cos\varphi_2$ 为：

$$I_2 = \frac{4.44 S f_1 N_2 \Phi}{\sqrt{R_2^2 + (S X_{20})^2}} \tag{2-2}$$

$$\cos\varphi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (S X_{20})^2}} \tag{2-3}$$

将式（2-2）和式（2-3）代入式（2-1），并考虑到 $E_1 = 4.44 f_1 N_1 \Phi$ 和忽略定子电阻 R_1 和 漏感抗 X_1 上的压降，则 $U_1 = E_1$，可得出转矩的另一个表达式为：

$$T = K\frac{SR_2U_1^2}{R_2^2 + (SX_{20})^2} = K\frac{SR_2U^2}{R_2^2 + (SX_{20})^2} \tag{2-4}$$

式中，K 为与电动机结构参数、电源频率有关的一个常数；U_1、U 分别为定子绕组相电压、电源电压；R_2 为转子每相绕组的电阻；X_{20} 为电动机不动（$n=0$）时，转子每相绕组漏感抗。式（2-4）所表示的电磁转矩 T 与转差率 S 的关系是 $T=f(S)$ 曲线，通常叫做 T-S 曲线。电磁转矩 T 与每相电压有效值 U_1 的平方成正比。由此可见，当电源电压变化时，对电磁转矩影响很大；当电压 U_1 一定，转子参数 R_2 和 X_{20} 一定时，电磁转矩与转差率 S 有关。

2. 交流异步电动机的机械特性

在异步电动机中，当定子电压 U_1、频率 f_1 和参数一定条件下，电动机电磁转矩 T 与转差率 S 的关系 $T=f(S)$ 通常叫做 T-S 曲线。为了符合习惯画法。可将 T-S 曲线转换成转速 n 与转矩 T 之间的关系曲线 $n=f(T)$，称为异步电动机的机械特性。它有固有机械特性和人为机械特性之分。

（1）固有机械特性

异步电动机在额定电压和额定频率下，用规定的接线方式，定子和转子电路中不串联任何电阻或电抗时的机械特性称为固有（自然）机械特性，如图 2-13 所示。曲线 1 为电源正相序时的固有机械特性；曲线 2 为负相序时的曲线。其特点如下：

①在 $0<S\leqslant 1$，即 $0<n<n_0$ 的范围内，特性在第一象限，电磁转矩 T 与转速 n 都为正，电动机工作在电动状态，电动机轴输出机械功率。

②在 $S<0$ 范围内，$n>n_0$，特性在第二象限，电磁转矩 $T<0$ 为负值，工作在发电状态，电动机的轴机械功率转化为电能。

③在 $S>1$ 范围内，$n<0$，特性在第四象限。$T>0$，电动机处于一种制动状态。

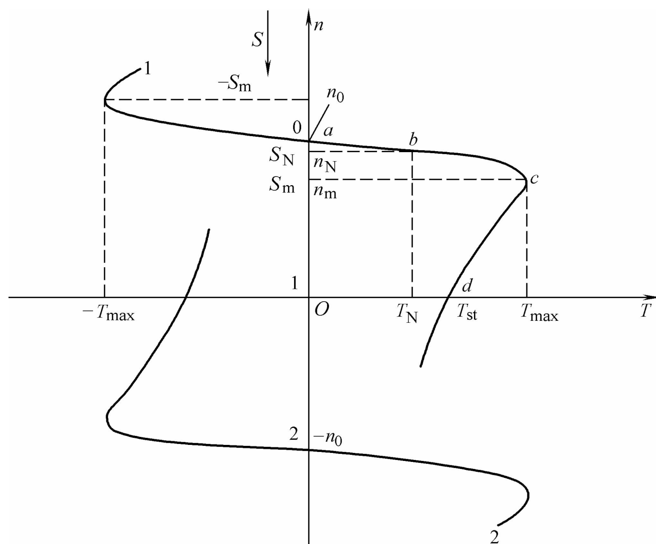


图 2-13　电动机的固有机微特性

从特性曲线上可以看出，其中有 4 个特殊点可以决定特性曲线的基本形状和异步电动机的运行性能，这 4 个特殊点是：

①$T=0$，$n=n_0$，$S=0$，电动机处于理想空载转速（同步转速）n_0。实际上由于摩擦力矩的存在，电动机的理想空载转速只是一个理论值，对应图 2-13 中的 a 点。

②$T=T_N$（电动机输出额定转矩），$n=n_N$，$S=S_N$ 为电动机额定工作点，对应图 2-13 中的 b 点。此时，$T_N=9550P_N/n_N$，$S_N=(n_0-n_N)/n_0$。一般 $n_N=(0.94\sim 0.94)n_0$；$S_N=0.06\sim 0.15$。

③$T=T_{max}$，$n=n_m$，$S=S_m$，为电动机的临界工作点，对应图 2-13 中的 c 点。此时的转矩 T_{max} 称为电动机最大转矩；速度 n_m 为临界速度；转差率 S_m 为临界转差率，是表征电动机运行性能的重要参数之一。当电动机的负载转矩超过此点时。电动机的输出转矩将会急剧下

降，转速也会随之下降，甚至造成堵转。

由式（2-4），令 $dT/dS=0$，得到临界转差率为：

$$S_m = R_2/X_{20} \tag{2-5}$$

将式（2-5）代入式（2-4），可得：

$$T_{max} = KU^2/2X_{20} \tag{2-6}$$

由式（2-5）和式（2-6）可看出，最大转矩 T_{max} 的大小与定子每相绕组上所加电压 U 的平方成正比，这说明异步电动机对电源电压的变化是很敏感的。电源电压过低，会使轴上输出转矩明显降低，甚至小于负载转矩，而造成电动机停转；最大转矩 T_{max} 的大小与转子电阻 R_2 的大小无关，但临界转差率 S_m 却正比于 R_2，这对绕线转子异步电动机而言，若在转子电路中串接附加电阻，则 S_m 增大，而 T_{max} 则不变。

异步电动机在运行中经常会遇到短时冲击负载，冲击负载转矩小于最大电磁转矩时，电动机仍然能够运行，而且电动机短时过载也不会引起剧烈发热。通常把在固有机械特性上的最大电磁转矩与额定电磁转矩之比：

$$\lambda_m = T_{max}/T_N$$

称为电动机的过载能力系数，它表征了电动机能够承受过负载的能力大小。一般三相异步电动机的 $\lambda_m = 1.6 \sim 2.2$。绕线型转子电动机的 $\lambda_m = 2.5 \sim 2.8$，往往大于笼型异步电动机，这就是绕线转子电动机多用于起重、冶金等冲击性负载机械设备上的原因。

④$T=T_{st}$，$n=0$，$S=1$，为电动机的起动工作点，对应于图 2-13 中的 d 点。此时的转矩称为电动机起动转矩，是表征电动机运行性能的重要参数之一。因为起动转矩的大小将影响到电动机拖动系统加速度的大小和加速时间的长短。如果起动转矩太小，在一定负载下电动机有可能起动不起来。

将 $S=1$ 代入式（2-4），可得：

$$T_{st} = K\frac{R_2U^2}{R_2^2+(SX_{20})^2} \tag{2-7}$$

可见异步电动机的起动转矩 T_{st} 与定子每相绕组上所加电压 U 的平方成正比，当施加在定子每相绕组上的电压 U 降低时，起动转矩下降明显；当转子电阻适当增加时，起动转矩会增大，这是因为转子电路电阻增加后，提高了转子回路的功率因数，转子电流的有功分量增大（此时 E_{20} 一定），因而起动转矩增大；若增大转子电抗，则起动转矩会大为减小，这是所不需要的。通常把在固有机械特性上的起动转矩与额定转矩之比 $\lambda_{st}=T_{st}/T_N$ 作为衡量异步电动机起动能力的一个重要数据，一般 $\lambda_{st}=1 \sim 1.2$。

在实际应用中，用式（2-4）计算机械特性非常麻烦，如把它化成用 T_{max} 和 S_m 表征的形式则方便多了。为此，用式（2-4）除以式（2-5），经整理后可得：

$$T = 2T_{max}/(S/S_m + S_m/S) \tag{2-8}$$

式(2-8)为“转矩-转差率”特性的实用表达式，也叫规格化“转矩-转差率”特性。根据该式，当转差率 S 很小，即 $S<S_m$ 时，则 S/S_m 远远小于 S_m/S，若忽略 S/S_m，则有：$T=2T_{max}S/S_m$。表示转矩 T 与转差率 S 成正比的直线关系，即异步电动机的机械特性呈线性关系。工程上常把这一段特性曲线作为直线来处理，这一段曲线叫做机械特性曲线的线性段。一般三相异步电动机在运行中，负载会变化（如车床切削进给量的大小，起重重物的改变等），使电动机的转速 n 随负载转矩的的变化而变化。由图 2-13 可见，当负载转矩 T 增大时，其转速 n 会下降；随着转

速 n 的下降,转差率 S 增大,又使转子电流 I_2 增加,同时也使 $\cos\varphi_2$ 减小,使电动机转矩不断增大。当电动机转矩等于变化后的负载转矩时,电动机将在较低的转速 n 下稳定运行。所以电动机带负载运行时,一般应工作在图 2-13 所示的线性段。

(2)人为机械特性

由式(2-4)可知,异步电动机的机械特性除与电动机的参数有关外,还与外加定子电压 U_l、定子电源频率 f_1、定子或者转子电路中串入的电阻或电抗等有关,将这些参数人为地加以改变而获得的机械特性称为异步电动机的人为机械特性。在电气控制系统中,人们可以通过合理地利用人为机械特性对异步电动机进行起动或者调速控制等,下面介绍几种人为机械特性。

①降低电动机电源电压时的人为机械特性。当电源电压降低时,由 $n_0=60f/p$,式(2-5)和式(2-6)可以看出,理想空载转速 n_0 和临界转差率 S_m 与电源电压无关,而最大转矩 T_{max} 却与 U^2 成正比。当降低定子电压时,n_0 和 S_m 不变,而 T_{max} 大大减小。在同一转差率情况下,人为特性与固有特性的转矩之比等于两者的电压平方之比。因此,在绘制降低电源电压时的人为机械特性时,是以固有特性为基础,在不同的 S 处,取固有特性上对应的转矩乘以降低电压与额定电压比值的平方,即可作出人为机械特性曲线,如图 2-14 所示。从图中可以看出,降低电压后电动机的机械特性是通过 n_0 点的曲线簇,其线性段的斜率增大。例如当 $U_a=U_N$ 时,$T_a=T_{max}$;当 $U_b=0.8U_N$ 时,$T_b=0.64T_{max}$;当 $U_c=0.5U_N$ 时,$T_c=0.25T_{max}$;…。电压越低,人为机械特性曲线越往左移。由式(2-7)可知,起动转矩 T_{st} 也随 U^2 成比例降低。故异步电动机对电源电压的变化非常敏感,运行时,如果电压降得太多,会大大降低它的过载能力和起动转矩,甚至电动机会发生带不动负载或根本不能起动的现象。例如,电动机运行在额定负载 T_N 下,即使 $\lambda_m=2$,若电网电压下降到 70% U_N,由于这时 $T_{max}=\lambda_m T_N(U/U_N)^2=2\times(0.7)^2T_N=0.98T_N$,电动机就会停转。此外,电网电压下降,在负载不变的条件下,将使电动机转速下降,转差率 S 增大,电流增加,引起电动机发热,甚至烧坏。

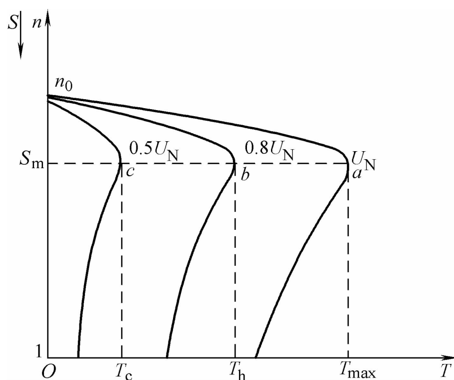


图 2-14　改变电源电压时纳人为机械特性

在实用中常采用的软起动器就是采用晶闸管(SCR)调压调速的原理而设计的起动装置。

②定子电路接入电阻或电抗时的人为机械特性。在电动机定子电路中外串电阻或电抗后,电动机端电压为电源电压减去定子外串电阻上或电抗上的压降,致使定子绕组相电压降低,这种情况下的人为特性与降低电源电压时相似。如图 2-15 所示。图中实线 1 为降低电源电压的人为特性;虚线 2 为定子电路串入电阻或电抗时的人为特性。从图中可以看出,串入电阻或电抗后的最大转矩 T_{max} 要比直

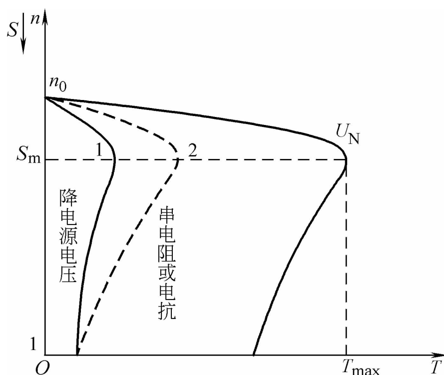


图 2-15　定子电路外接电阻或电抗时的人为机械特性

接降低电源电压时的最大转矩 T_{max} 大一些。因为随着转速的上升和起动电流的减小，在电阻或电抗上的压降减小，加在电动机定子绕组上的端电压自动增大，致使最大转矩大一些。而降低电源电压时的人为特性在整个起动过程中，定子绕组上的端电压是恒定不变的。

因此，在一些要求简单、花费较少的电动机起动场合，在起动过程中. 通常采用串接电阻或电抗器起动的方法，以减小对电网的冲击。常用的手动起动补偿器就属于采用串接电抗器减压起动的实例。

③改变定子电源频率时的人为机械特性。改变定子电源频率 f_1 对三相异步电动机机械特性的影响是比较复杂的，下面仅定性地分析一下 $n=f(T)$ 的近似关系。根据 $n_0=60f/p$ 和式（2-5）~（2-7），并注意到 $X_{20}\propto f$，$K\propto 1/f$，且一般变频调速采用恒转矩调速，即希望最大转矩 T_{max} 保持为恒值，为此在改变频率 f 的同时，电源电压 U 也要做相应的变化，使 U/f =常数，这在实质上是使电动机气隙磁通保持不变。在上述条件下就存在有 $n_0\propto f$，$S_m\propto 1/f_1$ 和 T_{max} 不变的关系，即随着 f_1 频率的降低，理想空载转速 n_0 要减小，临界转差率 S_m 要增大，起动转矩 T_{st} 要增大，而最大转矩 T_{max} 维持不变。如图 2-16 所示。

④转子电路串电阻时的人为机械特性。在三相绕线转子异步电动机的转子电路中串入对称电阻 R_{2r}，如图 2-17a 所示。此时转子电路中的电阻为 R_2+R_{2r}，由 $n_0=60f/p$、式（2-5）和式（2-6）可以看出，R_{2r} 的串入对理想空载转速 n_0、最大转矩 T_{max} 没有影响，但临界转差率 S_m 则随着 R_{2r} 的串入而增大，人为特性的线性部分斜率也随着 R_{2r} 的串入而增大，此时的人为特性将是一根比固有机械特性软的一条曲线，如图 2-17b 所示。很明显，串入的电阻越大，临界转差率亦越大。可选择适当的电阻 R_{2r} 串入转子电路中，使 T_{max} 发生在 $S_m=1$ 的瞬间，即：使最大转矩发生在起动瞬间，以改善电动机的起动性能。

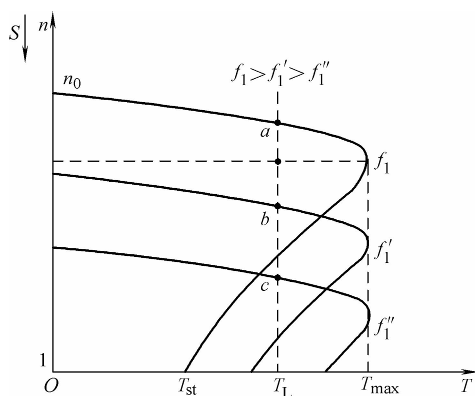


图 2-16　改变定子电源频率时的人为机械特性

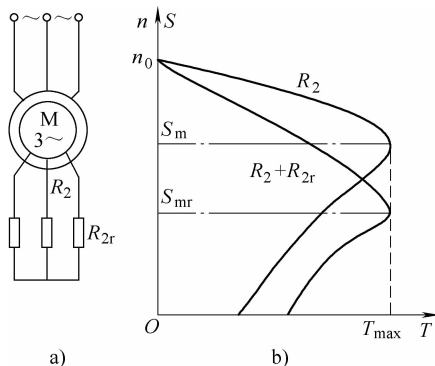


图 2-17　转子电路串电阻时的人为机械特性

a）电路图　b）机械特性

2.2　交流异步电动机的运行控制

2.2.1　交流异步电动机的工作特性

异步电动机的工作特性是指当外加电源电压 U_1 为常数、电源频率 f_1 为常数时，异步电动机的转速 n、转矩 T、定子绕组电流 I_1、定子功率因数 $\cos\varphi_1$ 及效率 η 与该电动机输出功率 P_2 的关系曲线。这些曲线可用实验方法测得。从异步电动机的工作特性曲线可以判断它

的工作性能好坏，从而达到正确选用电动机，以满足不同工作要求。异步电动机的不同工作特性曲线如图 2-18 所示。

1. 转速特性 $n = f(P_2)$

异步电动机的转速 n 在电动机正常运行的范围内随负载 P_2 的变化不大，所以 $n = f(P_2)$ 的曲线是一条稍下倾的近似直线，见图 2-18 中 n 曲线。如果略去电动机的机械损耗，则输出功率：

$$P_2 = 2\pi nT/60$$

则

$$T = 30P_2/\pi n$$

式中，P_2 的单位为 kW；n 的单位为 r/min；T 的单位为 N · m。

2. 定子电流特性 $I_1 = f(P_2)$

随着负载的增加，转速下降，转子电流增大，定子电流也增大，定子电流几乎随 P_2 按比例地增大，如图 2-18 中 I_1 曲线。

3. 功率因数特性 $\cos\varphi_1 = f(P_2)$

异步电动机在空载时功率因数很低，随着负载 P_2 的增加，开始时 $\cos\varphi_1$ 增加较快，通常在额定负载 P_{2N}时达到最大值。当负载再增加时，由于转差率 S 增大，使转子漏感抗 $X_2 = SX_{20}$变大，因而使 $\cos\varphi_1$ 反而降低，转子电流的无功分量增加，因而定子电流的无功分量随之增加，使电动机定子功率因数又重新开始下降，如图 2-18 中 $\cos\varphi_1$ 曲线。

4. 电磁转矩特性 $T = f(P_2)$

由于电动机在正常运行范围内，转速 $n = f(P_2)$ 曲线变化不大，近似为直线，故 $T = f(P_2)$ 也近似为一直线。由于 $T = T_2 + T_0$，在转速不变情况下。T_0 为一常数，所以 T 是在 T_2 的基础上叠加 T_0。因此，异步电动机的转矩特性是一条不通过原点的近似直线，如图 2-18 中的 T 曲线。

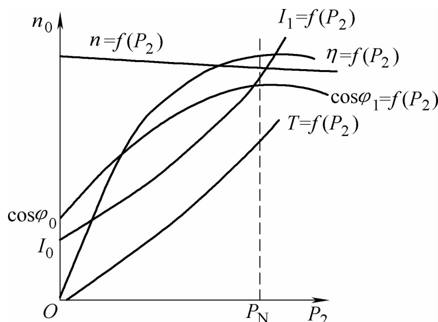


图 2-18 异步电动机的工作特性

5. 效率特性 $\eta = f(P_2)$

电动机的效率 η 随着负载 P_2 的增加，开始时增加较快，通常也在额定负载 P_{2N}时达到最大值；以后随着 P_2 的增加，效率 η 反而略有下降；因为效率达最大值后，如果负载继续增大，由于定子、转子铜损耗增加很快，效率反而降低，如图 2-18 所示 η 曲线。对于中、小型电动机，最大效率通常出现在 $0.7P_N \sim 1.0P_N$ 范围内。一般来说，电动机的容量越大，效率越高。

2.2.2 交流异步电动机的运行控制

三相交流异步电动机的运行控制主要包括起动、调速、正反转和制动等。

1. 异步电动机的起动控制

评价异步电动机的起动性能时，主要是看它的起动转矩和起动电流。一般期望在起动电流比较小的情况下，能得到较大的起动转矩。但异步电动机直接接入电网起动瞬时，由于转子处于静止状态，定子旋转磁场以最快的相对转速（即同步转速）切割转子导体，在转子绕组中感应出很大的转子电势。在刚起动时，$n = 0$，$S = 1$，若设异步电动机在额定转速 n_N 转动时的转差率 $S_N = 0.05$。由于 $E_{2N} = SE_{20}$，可知，刚起动时的转子电动势 E_{20}可达额定转速

时的转子电动势 E_{2N} 的 20 倍。考虑到起动时转子漏抗 X_{20} 也较大，因此实际上起动时转子电流 I_{2st} 约为额定转子电流 I_{2N} 的 5 ~ 8 倍，而起动时定子电流 I_{1st} 约为额定定子电流 I_{1N} 的 4 ~ 7 倍。因为起动时 $S=1$，$f_2=f_{20}$，转子漏抗 X_{20} 远大于转子电阻，转子功率因素 $\cos\varphi_2$ 很低，使其有功分量 $I_{2st}\cos\varphi_{2st}$ 并不大，故起动转矩 $T_{st}=K_T\Phi I_{2st}\cos\varphi_{2st}$ 也不大。一般 $T_{st}=(0.8\sim2.2)T_N$，固有起动特性如图 2-19 所示。显然异步电动机的这种起动性能和生产机械的要求是相矛盾的。为了解决该矛盾，必须根据具体情况，采用不同的起动方法限制起动电流，增大起动转矩，从而改善起动性能。

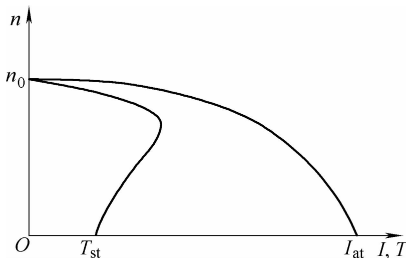


图 2-19　异步电动机的固有起动特性

（1）笼型异步电动机的起动方法

笼型异步电动机有直接起动和减压起动两种方法。

1）直接起动（全压起动）　直接起动就是利用闸刀开关或接触器将定子绕组直接接入额定电压的电源上起动。由于直接起动的起动电流很大，因此在什么情况下才允许采用直接起动，有关供电、动力部门都有所规定，主要取决于电动机的功率与供电变压器的容量之比值。一般在有独立变压器供电的情况下，若电动机起动频繁，电动机的功率小于供电变压器的容量的 20%，则允许直接起动。若电动机不经常起动，电动机的功率小于供电变压器的容量的 30%，则允许直接起动。如果没有独立的变压器（即与照明共用电源），电动机起动又比较频繁，则常按经验公式来估算，满足下面的关系则可直接起动。

$$I_{st}/I_N \leqslant 3/4 + \text{电源总容量}/(4\times\text{电动机功率}) \tag{2-9}$$

直接起动无需附加起动设备，操作和控制简单、可靠，所以在条件允许的情况下应尽量采用。考虑到目前在大中型厂矿企业中，变压器容量已足够大，为此，一般对于 20 ~ 30kW 以下的异步电动机都可以采用直接起动

2）减压起动　不允许直接起动时，则可以采用减压起动，即在起动时利用某些设备降低加在电动机定子绕组上电压，减小起动电流。笼型异步电动机减压起动常用下面几种方法：

①定子串电阻或电抗器减压起动　这种起动方法的优点是起动平稳，运行可靠，设备简单。其缺点是：起动转矩随定子电压的平方关系下降，只适用于空载或轻载起动的场合；不经济，在起动过程中，电阻器上的消耗能量大；不适用于经常起动的电动机。若采用电抗器代替电阻器，则所需设备费较贵，且体积大。

②Y-△减压起动　Y-△减压起动的方法只适用于正常运行时定子绕组接成△的电动机。设 U_1 为电源线电压，I_{stY} 及 $I_{st\triangle}$ 为接成Y或的△起动电流（线电流），Z 为电动机在起动时每相绕组的等效阻抗，则有：

$$I_{stY}=U_1/(\sqrt{3}Z) \qquad I_{st\triangle}=\sqrt{3}U_1/Z$$

所以，$I_{stY}=I_{st\triangle}/3$，即定子绕组接成Y时的起动电流等于接成△时起动电流的的 1/3。而接成Y时的起动转矩：$T_{stY}\propto(U_1/\sqrt{3})^2=U_1{}^2/3$；接成△时的起动转矩：$T_{st\triangle}\propto(U_1)^2$；所以，$T_{stY}=T_{st\triangle}/3$，即定子绕组接成Y时的起动转矩只有接成△时起动转矩的的 1/3。

此种起动方法的优点是设备简单，经济，运行可靠，维修方便，起动电流小。缺点是起

动转矩小，且起动电压不能按实际要求调节，故只能适用于空载或轻载起动的场合。由于这种方法应用广泛，我国已专门生产有能采用Y-△换接起动的三相异步电动机，其定子额定电压为 380V，此即为电源线电压，联结方式为△。

3）自耦变（调）压器减压起动　这种起动方法是利用一台降压的自耦变压器（又称起动补偿器），使施加在定子绕组上的电压降低，待起动完毕后，再把电动机直接接到电源上。

图 2-20 所示为自耦变压器起动的一相等效电路，由变压器的原理可知，此时二次侧电压与一次侧电压之比 K 为：

$$K = U_2/U_1 = N_2/N_1 < 1$$

起动时，加在电动机定子每相绕组上的电压 $U_2 = KU_1$，只有全电压起动的 K 倍，即 $I_2 = KI_{st}$（注意：I_2 是自耦变压器的二次侧电流）。但变压器一次侧电流 $I_1 = KI_2 = K^2I_{st}$，此时从电网吸取的电流 I_1 只有直接起动时的 K^2 倍。

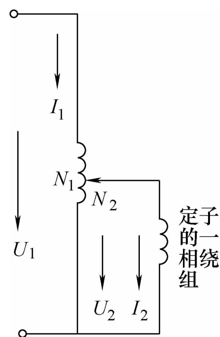


图 2-20　一相等效电路

这种起动方式的优点是：在电压比 K 一定、起动转矩一定的条件下，采用自耦变压器减压起动，比前述的各种减压起动的电流减小，即对电网的冲击电流减小，或者说在起动电流一定的情况下，起动转矩增大了，起动不受电动机转子绕组接法的限制，并且电压比可以改变，即起动电压大小可调。

其缺点是自耦变压器的体积大，质量大，价格高，维修麻烦。起动用自耦变压器的设计是按短时工作考虑的，起动时自耦变压器处于过电流（超过额定电流）状态下运行，因此不适于起动频繁的电动机，每小时内允许连续起动的次数和每次起动的时间，在产品说明书上都有明确的规定，选配时应充分注意。它在起动不大频繁，要求起动转矩较大，容量较大的异步电动机上应用较为广泛。通常自耦变压器的输出端有固定抽头（一般有 $K = 80\%$、65%和 50%3 种电压，可根据需要进行选择）。

为了便于根据实际要求选择合理的起动方法，现将上述几种常用起动方法的起动电压、起动电流和起动转矩的相对值列于表 2-1 中。表中 U_N、I_{st} 和 T_{st} 为电动机的额定电压、全压起动时的起动电流和起动转矩，其数值可从电动机的产品目录中查到；U_{st}、I_{st} 和 T_{st} 为按各种方法起动时实际加在电动机上的线电压、实际起动电流（对电网的冲击电流）和实际的起动转矩。

表 2-1　笼型异步电动机几种起动方法的比较

起 动 方 法	起动电压相对值 $K_U = U_{st}/U_N$	起动电流相对值 $K_I = I'_{st}/I_{st}$	起动转矩相对值 $K_T = T'_{st}/T_{st}$
直接（全压）起动	1	1	1
定子电路串电阻或电抗器减压起动	0.8 0.65 0.5	0.8 0.65 0.5	0.64 0.42 0.25
Y-△减压起动	0.57	0.33	0.33
自耦变压器减压起动	0.8 0.65 0.5	0.64 0.42 0.25	0.64 0.42 0.25

4）延边三角形起动　需要厂家提供特殊电动机，目前已很少使用。

笼型异步电动机除了可在定子绕组想办法减压起动外，还可以通过改进笼的结构来改善起动性能，这类电动机主要有深槽式和双笼式。

（2）绕线转子异步电动机的起动方法

笼型异步电动机的起动转矩小，起动电流大，因此不能满足某些生产机械需要高起动转矩、低起动电流的要求。而绕线转子异步电动机由于能在转子回路中串入电阻，因此具有较大的起动转矩和较小的起动电流，即具有较好的起动特性。

在转子电路中串入电阻起动，常用的方法有两种：逐级切除起动电阻法和频敏变阻器起动法。

①逐级切除起动电阻法。采用逐级切除起动电阻的方法，主要是为了使整个起动过程中电动机能保持较大的加速转矩，缩短起动时间。起动过程如图 2-21 所示。

②频敏变阻器起动法。采用逐级切除起动电阻的方法来起动绕线转子异步电动机时，由于转矩的突变会引起机械上的冲击。为了克服这一缺点，采用频敏变阻器作为起动电阻。其特点是：它的电阻值会随着转速的上升而自动减小，即能做到自动变阻，使电动机平稳地完成起动，而且不需要控制电器。频敏变阻器的结构、接线和等效电路如图 2-22 所示。

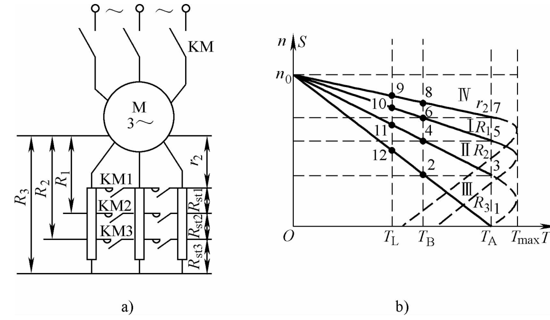


图 2-21　逐级切除起动电阻法的起动过程

a）原理接线图　b）起动特性

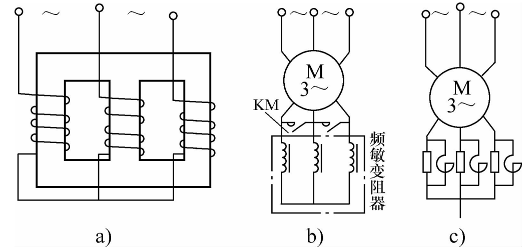


图 2-22　频敏变阻器起动法

a）结构示意　b）接线图　c）等效电路图

2. 异步电动机一般调速方法

异步电动机实际转速 n 与电动机输入定子电源频率 f_1、转差率 s 和电动机磁极对数 P 的关系式为：$n=60(f_1/P)(1-s)$。可以看出，异步电动机的调速可通过改变磁极对数 P、调节转差率 s、及改变定子频率 f_1 三种方式。常用的异步电动机调速方法及其比较如表 2-2 所示，由表中的对比可以看出，PWM 变频调速是最理想的调速方式。几种调速方法的机械特性可参考上述人为机械特性。

表 2-2　常用的异步电动机调速方法及其比较表

调速方法	磁极对数 p	改变定子频率	调节转差率 s		
调速根据	改变电动机极对数 p	PWM 变频（变 f/U）	改变定子输入交流电压值	改变转子串接电阻值	改变逆变器逆变角 β，调节转差电压
调速类别	有极	无极	无极	有极，调速平滑性差	调速范围小小时可做到无极平滑调速

（续）

调速方法	磁极对数 p	改变定子频率	调节转差率 s		
调速范围	25/50/100（%额定）	100～0（%额定）	100～80（%额定）	100～50（%额定）	100～50（%额定）
调速精度	高	最高	一般	一般	高
节能效果	高效	最高效	低效	低效	高效
功率因数	良	优	良	良	差
动态响应	快	最快	快	差	较快
控制装置	简单	复杂	较简单	简单	较复杂
初投资	低	最高	较低	低	中
电网干扰	无	有	大	无	较大
维护保养	最易	较易	易	易	较难
装置故障处理方法	停车处理	不停车，投工频	不停车，投工频	停车处理	停车处理
适用范围	在几挡速度下恒速运行的场合	长期低速运行，起停频繁或调速范围较大的场合	长期在高调速范围内调速运行的小容量异步电动机	调速范围不大，硬度要求不高场合的绕线转子电动机	调速范围不大，单象限运行，对动态性能要求不高的绕线转子电动机

3. 异步电动机的反转

从三相异步电动机的工作原理可知，电动机的旋转方向取决于定子旋转磁场的旋转方向。因此只要改变旋转磁场的旋转方向，就能使三相异步电动机反转。实用中常用两台接触器进行换相，即任意调换电动机的两根电源接线即可，如图 2-23 所示。

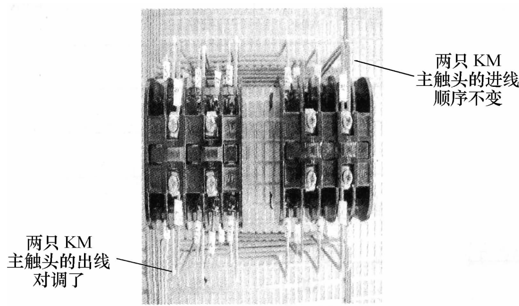


图 2-23　正反转接触器的换相

4. 异步电动机的制动

上述电动机在起动、调速和反转运行时有一个共同的特点，即电动机的电磁转矩和电动机的旋转方向相同，故称电动机处于电动运行状态。三相异步电动机还有一类运行状态称为制动，包括机械制动和电气制动。机械制动是利用机械装置使电动机从电源切断后能迅速停转。它的结构有好几种型式，应用较普遍的是电磁抱闸，它主要用于起重机械上吊重物时，使重物迅速而又准确地停留在某一位置上。电气制动是指电动机所产生的电磁转矩和电动机的旋转方向相反状态，如在负载转矩为位能转矩的机械设备中（例如起重机下放重物时，运输工具在下坡运行时）使设备保持一定的运行速度；在机械设备需要减速或停止时，电动机能实现减速和停止。

电气制动通常可分为能耗制动、反接制动和再生（反馈）制动等 3 类。

（1）能耗制动

将运行着的异步电动机的定子绕组从三相交流电源上断开后，立即接到直流电源上，这种方法是将转子的动能转变为电能，消耗在转子回路的电阻上，所以称能耗制动。

对于采用能耗制动的异步电动机，既要求有较大的制动转矩，又要求定、转子回路中电流不能太大而使绕组过热。根据经验，能耗制动时对鼠笼式异步电动机取直流励磁电流为 $(4\sim5)I_0$，对绕线转子异步电动机取 $(2\sim3)I_0$，制动所串电阻 $r=(0.2\sim0.4)\dfrac{E_{2N}}{\sqrt{3}I_{2N}}$。

能耗制动的优点是制动力强，制动较平稳。缺点是需要一套专门的直源电源供制动用。能耗制动时的原理电路图及机械特性，如图 2-24 所示。

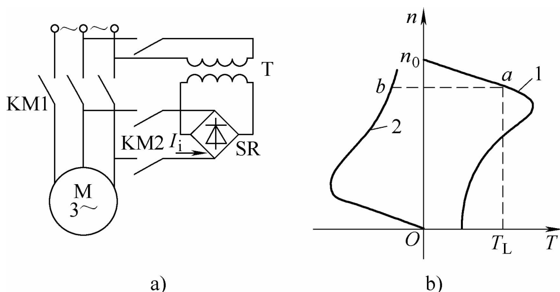


图 2-24　能耗制动电路图及机械特性

a）原理电路图　b）机械特性

（2）反接制动

反接制动分为电源反接制动和倒拉反接制动两种。

①电源反接制动。改变电动机定子绕组与电源的连接相序。电源的相序改变，旋转磁场立即反转，而使转子绕组中感应电势、电流和电磁转矩都改变方向，因机械惯性，转子转向未变，电磁转矩与转子的转向相反，电动机进行制动，此称电源反接制动。电源反接制动的机械特性如图 2-25 所示。

②倒拉反接制动。当绕线转子异步电动机拖动位能性负载时，在其转子回路串入很大的电阻。在位能负载的作用下，使电动机反转。因这是由于重物倒拉引起的，所以称为倒拉反接制动（或称倒拉反接运行）。倒拉反接制动时的机械特性如图 2-26 所示。

绕线转子异步电动机倒拉反接制动状态，常用于起重机低速下放重物。

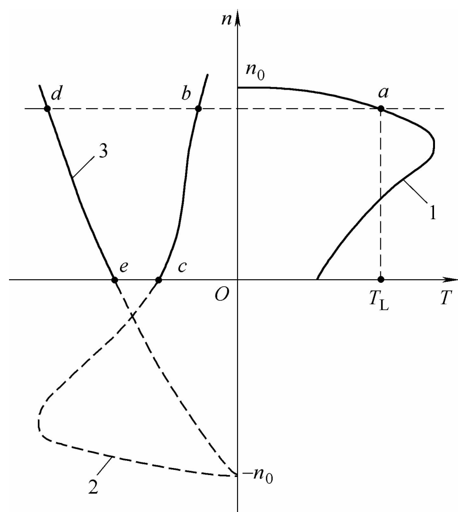


图 2-25　电源反接制动的机械特性

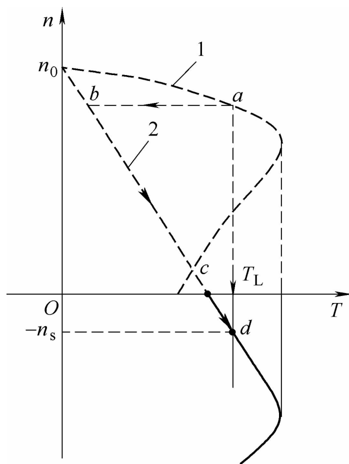


图 2-26　倒拉反接制动时的机械特性

（3）反馈制动

当异步电动机由于某种原因，使其转速 $n>n_0$（理想空载转速）时，转差率 $S=(n_0-n)/n_0<0$，异步电动机进入发电状态，此时 T 与 n 的方向相反，T 起制动作用。电动机从轴上吸取机械功率转换为电磁功率后，一部分转子铜耗，大部分通过气隙进入定子，并在供

给定子铜耗和铁损后，反馈给电网。所以被称为反（回）馈制动或发电（再生）制动。异步电动机的反馈制动运行状态有两种情况。

①起重机下放重物时，负载转矩为位能负载。当电动机的转速超过旋转磁场的同步转速时，转矩方向与转子转向相反，成制动转矩，并随着转速的下降而增大。当 $T=T_L$ 时，达到稳定状态，重物匀速下降。改变，转子回路串入的电阻，可以调节重物下降的稳定运行速度。为了限制下放速度过高，转子回路不应串入过大的电阻。其机械特性，如图 2-27 所示。

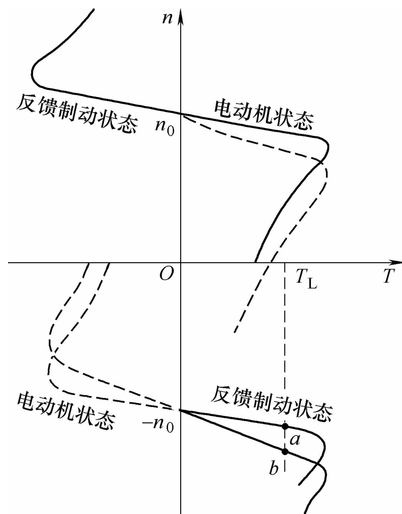


图 2-27　下放重物时机械特性

②电动机在变极或变频调速时使其同步转速 n_0 突然降低时，转子转速 n 将超过同步转速 n_0，$S<0$，异步电动机进入反馈制动状态，特性曲线进入第三象限的发电区域内。此时转子所产生的电磁转矩为负，和负载转矩一起，迫使电动机降速，电动机将运动系统中的动能转换成电能反馈到电网。当电动机将高速档所储存的动能消耗完后，便进入低速档稳定运行。其机械特性如图 2-28 所示。

三相异步电动机四象限运行及制动特性如图 2-29 所示。

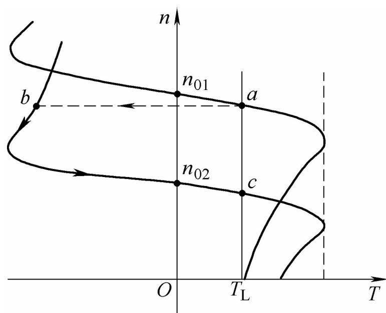


图 2-28　突降转速时的机械特性

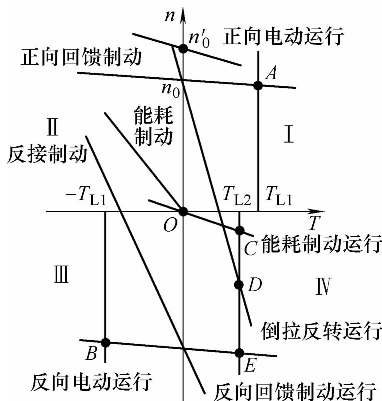


图 2-29　四象限运行及制动特性

2.2.3　交流异步电动机的一般故障维修

异步电动机的故障可分机械故障和电气故障两类。机械故障如轴承、铁心、风叶、机座转轴等的故障，一般比较容易观察与发现。电气故障主要是定子绕组、转子绕组、电刷等导电部分出现的故障。故障处理的关键是通过电动机在运行中出现的各种不正常现象来进行分析，从而找到电动机的故障部位与故障点。由于电动机的结构、型号、质量、使用和维护情况的不同，要正确判断故障，必须先进行认真细致的研究、观察和分析，然后进行检查与测量，找出故障所在，并采取相应的措施予以排除。检查电动机故障的一般步骤是：

1. 调查

首先了解电动机的型号、规格、使用条件及年限，以及电动机在发生故障前的运行情况，如所带负荷的大小、温升高低、有无不正常的声音、操作使用情况等等。并认真听取操

作人员的反映。

2. 察看

察看的方法要按电动机故障情况灵活掌握，有时可以把电动机接上电源进行短时运转，直接观察故障情况再进行分析研究。有时电动机不能接电源，可通过仪表测量或观察来进行分析判断，然后再把电动机拆开，测量并仔细观察其内部情况，找出其故障所在。

异步电动机常见的故障现象，产生故障的可能原因及故障处理方法见表 2-3。

表 2-3　异步电动机的常见电气故障及排除方法

故障现象	造成故障的可能原因	处 理 方 法
电源接通后电动机不起动	（1）定子绕组接线错误 （2）定子绕组断路、短路或接地，绕线电动机转子绕组断路 （3）负载过重或传动机构被卡住 （4）绕线转子电动机转子回路断线（电刷与滑环接触不良，变阻器断路，引线接触不良等） （5）电源电压过低	（1）检查接线，纠正错误 （2）找出故障点，排除故障 （3）检查传动机构及负载 （4）找出断路点，并加以修复 （5）检查原因并排除
电动机温升过高或冒烟	（1）负载过重或起动过于频繁 （2）三相异步电动机断相运行 （3）定子绕组接线错误 （4）定子绕组接地或匝间、相间短路 （5）笼型电动机转子断条 （6）绕线转子电动机转子绕组断相运行 （7）定子、转子相擦 （8）通风不良 （9）电源电压过高或过低	（1）减轻负载、减少起动次数 （2）检查原因，排除故障 （3）检查定子绕组接线，加以纠正 （4）查出接地或短路部位，加以修复 （5）铸铝转子必须更换，铜条转子可修理或更换 （6）找出故障点，加以修复 （7）检查轴承、转子是否变形，进行修理或更换 （8）检查通风道是否畅通，对不可反转的电动机检查其转向 （9）检查原因并排除
电动机振动	（1）转子不平衡 （2）皮带轮不平稳或轴弯曲 （3）电动机与负载轴线不对 （4）电动机安装不良 （5）负载突然过重	（1）校正平衡 （2）检查并校正 （3）检查、调整机组的轴线 （4）检查安装情况及底脚螺栓 （5）减轻负载
运行时有异声	（1）定子转子相擦 （2）轴承损坏或润滑不良 （3）电动机两相运行 （4）风叶碰机壳等	（1）见上面 （2）更换轴承，清洗轴承 （3）查出故障点并加以修复 （4）检查交消除故障
电动机带负载时转速过低	（1）电源电压过低 （2）负载过大 （3）笼型电动机转子断条 （4）绕线电动机转子绕组一相接触不良或断开	（1）检查电源电压 （2）核对负载 （3）见上面 （4）检查电刷压力，电刷与滑环接触情况及转子绕组
电动机外壳带电	（1）接地不良或接地电阻太大 （2）绕组受潮 （3）绝缘有损坏，有脏物或引出线碰壳	（1）按规定接好地线，消除接地不良处 （2）进行烘干处理 （3）修理，并进行浸漆处理，消除脏物，重接引出线

本 章 小 结

本章从使用的角度出发，简明扼要地介绍了生产设备电气与 PLC 控制中最常用的三相交流电动机的基本结构、工作原理、机械特性、运行特性和一般故障维修方法；学习和掌握生产设备的电气控制和 PLC 技术，必须首先掌握这些知识，它是生产设备电气与 PLC 控制技术的根基。

习题与思考题

2-1 三相交流异步电动机在电气控制中有什么作用？
2-2 三相交流异步电动机的基本结构组成有哪些？按转子结构分类有哪两种？
2-3 三相交流异步电动机工作原理如何？
2-4 三相交流异步电动机的接线方式有哪两种？
2-5 三相交流异步电动机的铭牌有什么作用？
2-6 三相异步电动机的电磁转矩由什么决定的？
2-7 三相异步电动机的固有机械特性有哪四个特殊点？各有什么特点？
2-8 三相异步电动机的人为机械特性通常有哪些？有何作用？
2-9 三相异步电动机的工作特性有何作用？通常有哪些？
2-10 三相笼型异步电动机的起动方法有哪些？各有哪些优缺点？
2-11 三相绕线转子异步电动机的起动方法有哪些？各有哪些优缺点？
2-12 三相异步电动机的调速方法有哪些？各有什么特点？
2-13 如何实现三相异步电动机的正反转？
2-14 三相异步电动机的制动方法有几种？各有什么特点？
2-15 三相异步电动机的故障通常可分为哪两类？如何进行？

第 3 章　传统电气控制的基本环节与典型电路

主要内容：

（1）电气制图与识图基础。

（2）电气控制常用电路的基本环节。

学习重点及教学要求：

（1）掌握电气制图与识图基础知识。

（2）掌握电气控制中自锁、连锁、互锁的作用及其基本电路。

（3）掌握电气控制直接起动的条件和各种减压起动的方法，重点掌握Y-△起动电路的工作原理，了解其他减压起动的基本电路。

（4）掌握电气控制正反转运行的基本电路。

（5）掌握电气控制的基本制动电路。

（6）掌握电气控制的基本调速电路。

（7）掌握电气控制的基本保护电路。

（8）了解电气电液控制的基本电路。

（9）掌握电气控制的基本控制原则。

传统电气控制通常采用的是“继电器-接触器”控制，其特点是控制简便、价格便宜，在 PLC、单片机等未出现前的几十年间一直被广泛应用；就是在今天，其市场占有量还相当大。

3.1　电气制图与识图基础

电气电路根据电流和电压的大小可分为主电路和控制电路。主电路是流过大电流或高电压的电路，如电动机所在的电路；控制电路是流过小电流或低电压的电路，如接触器和继电器的线圈所在电路以及耗能低的保护电路、联锁电路。电气控制系统图就是指根据国家电气制图标准，用规定的电气符号、图线来表示系统中各电气设备、装置、元器件的连接关系的电气工程图。电气控制系统图通常包括：电气原理图；电气元件布置图；电气安装接线图等。

3.1.1　电气原理图

电气控制原理图表示电气控制电路的工作原理，即表示电流从电源到负载的传送情况和各电气元件的动作原理及相互关系，而不考虑各电气元件实际安装的位置和实际连线情况。绘制电气控制原理图时，一般应遵循以下原则：

1. 所有电动机、电气等元件都要采用国家最新统一规定的图形符号和文字符号来表示

（1）文字符号

用来表示电气设备、装置、元件的名称、功能、状态和特征的字符代码。例如，FR 表示热继电器，KM 表示接触器等。见附录 A。

（2）图形符号

用来表示一台设备或概念的图形、标记或字符。例如，“～”表示交流，R 表示电阻等。国家电气图用符号标准 GB/T 4728 规定了电气简图中图形符号的画法，该标准及国家电气制图标准 GB/T 6988 于 1997 年 1 月 1 日正式开始执行。见附录 A。

2. 电气原理图绘制原则

CA6140 车床电气原理图的绘制样例如图 3-1 所示。其绘制原则概括为：

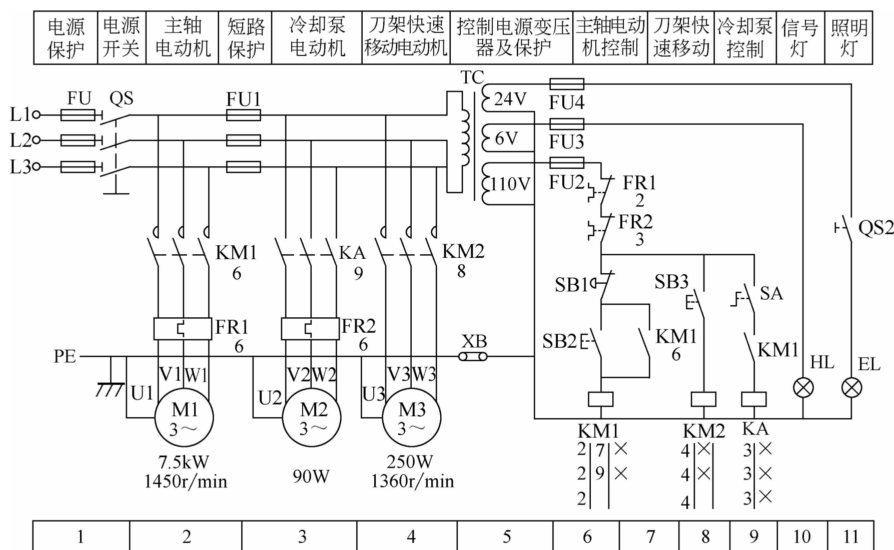


图 3-1　CA6140 车床电气图绘制样例

（1）电气控制电路分主电路和控制电路。一般主电路用粗线条画在左侧或上方，控制电路用细线条画在右侧或下方。

（2）所有电气元件，均采用国家标准规定的图形符号和文字符号表示。需要测试和拆、接外部引线的端子，应用图形符号“空心圆”表示。电路的连接点用“实心圆”表示。

（3）同一电路的不同部分（如线圈、触点）可分散在图中不同部位。按功能布置，分别放在它们完成逻辑作用的地方。为易于识别，同一元器件的不同部位使用同一文字符号标明；若有多个同一种类的元件，可在文字符号后加上数字符号的下标，如 KM1、KM2 等。

（4）电气控制电路的所有按钮、触点均按没有外力作用和没有通电时的原始状态画出。“原始状态”对按钮、行程开关等是指没有受到外力时的触点状态；而对于接触器、继电器等是指线圈未通电时的触点状态。

（5）控制电路的分支电路，原则上按动作顺序和信号流自上而下或从左到右的原则绘制。电路图应按主电路、控制电路、照明电路、信号电路分开绘制。直流和单相电源电路用水平线画出，一般画在图样上方，相序自上而下排列。中性线（N）和保护接地线（PE）

放在相线之下。主电路与电源电路垂直画出。控制电路与信号电路垂直画在两条水平电源线之间。耗电元件（如电器的线圈，电磁铁，信号灯等）直接与下方水平线连接。控制触点连接在上方水平线与耗电元件之间。当图形垂直放置时，各元器件触点图形符号以“左开右闭”绘制。当图形为水平放置时以“上闭下开”绘制。其触点动作的方向是从下向上、由左到右。

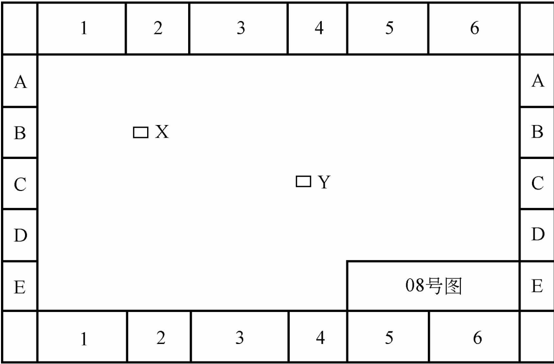


图 3-2　电气图图区划分示意图

3. 图区的划分

在图样的下方沿横坐标方向划分图区，并用数字编号。同时在图样的上方沿横坐标方向划区，分别标明该区电路的功能。电气图图区划分示意图如图 3-2 所示。

4. 符号位置的索引

元件的相关触点位置的索引用图号、页次和区号组合表示，如图 3-3 所示。

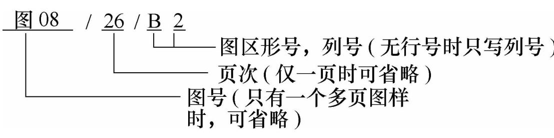


图 3-3　元件相关触点位置的表示

接触器和继电器的触点位置可采用表 3-1 和表 3-2 所示的方式表示。

表 3-1　接触器各栏的含义

左栏	中栏	右栏
主触点的图区号	辅助动合触点图区号	辅助动断触点的图区号

表 3-2　继电器各栏的含义

左栏	右栏
动合触点的图区号	动断触点的图区号

5. 主电路各接点标记

三相交流电源引入线采用 L1、L2、L3 标记。电源开关之后分别按 U、V、W 的顺序标记。分级三相交流电源主电路可采用 1U、1V、1W；2U、2V、2W 等。各电动机分支电路各接点可采用三相文字代号后面加数字来表示，如：U11、U21 等，数字中的十位数字表示电动机代号，个位数字表示该支路的接点代号。

控制电路采用阿拉伯数字编号，一般由 3 位或 3 位以下的数字组成。

3.1.2　电气元件布置图

表示各种电气设备在机床、机械设备和电气控制柜的实际安装位置。各电气元件的安装位置是由机床结构和工作要求决定的，如电动机要和被拖动的机械部件在一起，行程开关应放在要取得信号的地方，操作元件放在操作方便的地方，一般电气元件放在电气控制柜内。电气元件布置图详细绘制出电气设备、零件的安装位置。电气图中电气元件布置示意图如图 3-4 所

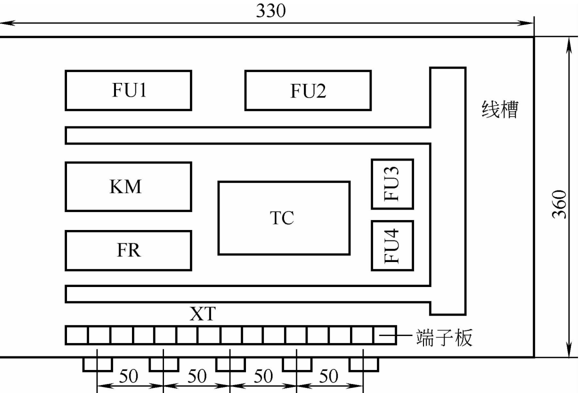


图 3-4　电气图中电气元件布置示意图

示，图中各电气代号应与有关电路和电气清单上所有元器件代号相同。

3.1.3　安装接线图

表示电气设备各单元之间实际接线情况。绘制接线图时应把各元器件的各个部分（如触点与线圈）画在一起，文字符号、元件连接顺序、电路号码编制必须与电气原理图一致。电气设备接线图和安装图用于安装接线、检查维修和施工。图3-5所示电动机正反转控制安装接线图表明了电气设备外部元件的相对位置及它们之间的电气连接，是现场实际安装接线的依据。

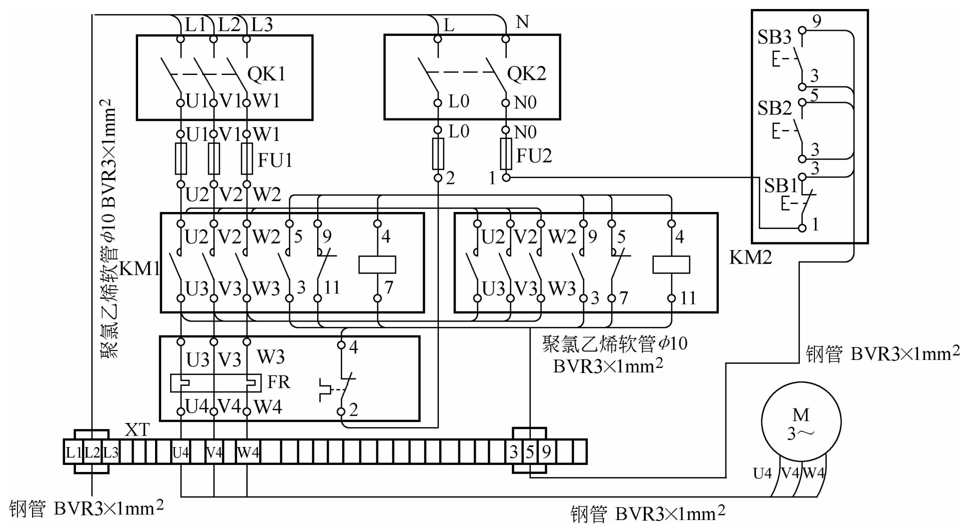


图3-5　电动机正反转控制的实际安装接线图

3.1.4　电气识图方法与步骤

1. 识图方法

（1）结合电工基础知识识图

在掌握电工基础知识的基础上，准确、迅速地识别电气图。如改变电动机电源相序，即可改变其旋转方向的控制。

（2）结合典型电路识图

典型电路就是常见的基本电路，如电动机的起动、制动、顺序控制等。不管多复杂的电路，几乎都是由若干基本电路组成的。因此，熟悉各种典型电路，是看懂较复杂电气图的基础。

（3）结合制图要求识图

在绘制电气图时，为了加强图纸的规范性、通用性和示意性，必须遵循一些规则和要求，利用这些制图的知识能够准确地识图。

2. 识图步骤

（1）准备

了解电气设备生产过程和工艺对电路提出的要求；了解各种用电设备和控制电器的位置及用途；了解图中的图形符号及文字符号的意义。

（2）主电路

首先要仔细看一遍电气图，弄清电路的性质，是交流电路还是直流电路。然后从主电路入手，根据各元件的组合判断电动机的工作状态。如电动机的起停、正反转等。

（3）控制电路

分析完主电路后，再分析控制电路。要抓住基本控制环节，按动作顺序对每条小回路逐一分析研究；然后再全面分析各条回路相互间的配合（连锁）和制约（互锁）关系，要特别注意与机械、液压部件的动作关系。

（4）最后阅读保护、照明、信号指示、检测等部分。

3.2　传统电气控制常用的基本环节和典型电路

任何一个复杂的电气控制电路，总是由一些基本的控制环节、辅助环节和保护环节，根据生产设备的工艺要求，按照一定的规律组合起来的。如图 3-6 所示的 C650 型卧式车床电气控制电路原理图就是由双向起动、正反转运行、正反转停机反接制动、长动、自锁、连锁、互锁、过载和断路保护等一些基本控制环节组成的。电气控制过程的开始和结束以及中间状态的转换不仅借可助于按动按钮等人工实现，而在实际运行中还经常伴随着行程（位置）、时间、电流（力或转矩）、速度、频率等物理量的变化而进行自动控制。根据这 5 种不同的控制原则，又组成了各种典型的控制电路。因此，掌握这些基本环节和典型控制电路是阅览和设计复杂生产设备电气控制电路的基础。

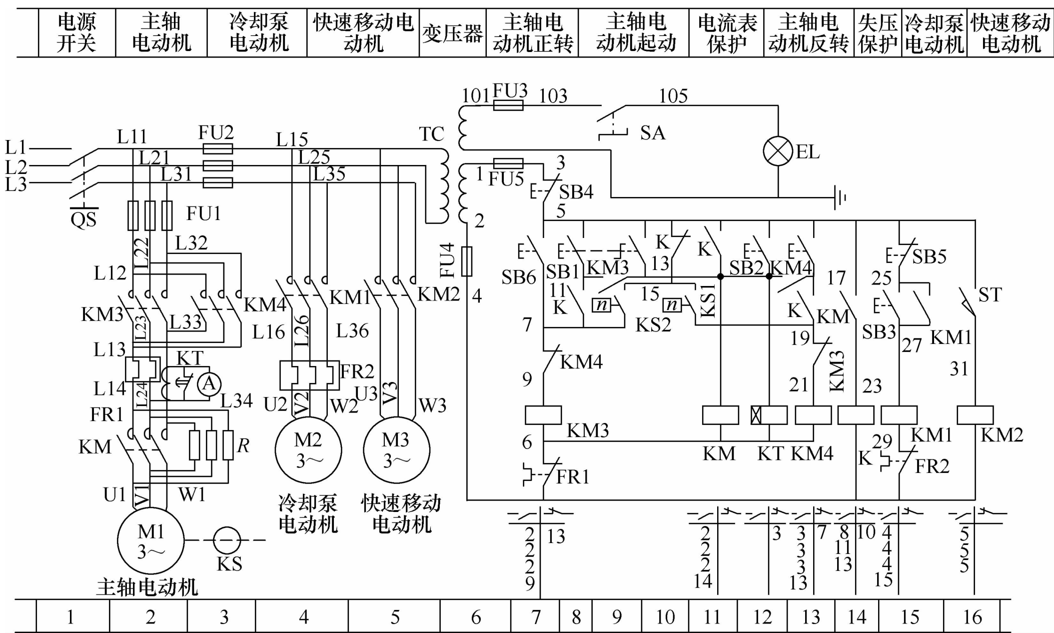


图 3-6　C650 型卧式车床电气控制电路原理图

3.2.1　电动机的起动控制电路

电动机起动是指电动机的转子由静止状态变为正常运转状态的过程。笼型交流异步电动

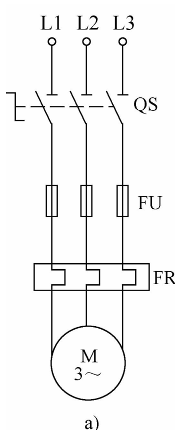
机起动时的起动电流很大，约为额定值的 4 ~ 7 倍，过大的起动电流一方面会引起供电线路上很大的压降，影响线路上其他用电设备的正常运行；另一方面电动机频繁起动会严重发热，加速线圈老化，缩短电动机的寿命。为此，电动机起动过程中最关键的是限制起动电流问题。常用的起动控制电路有全电压起动电路和减压起动电路。

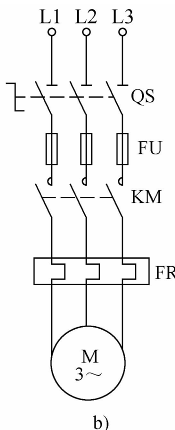
1. 全电压起动电路

由经验公式，当 $I_{st}/I_N \leqslant (3/4 + P_S/4P_N)$ 时，中小型电动机可全电压直接起动。式中，I_{st} 为电动机起动电流（A）；I_N 为电动机额定电流（A）；P_S 为电源容量（kVA）；P_N 为电动机额定功率（kW）。图 3-7 为两种全电压直接起动控制电路。

（1）开关点动电路

图 3-7a 为开关点动，即按下开关，电动机转动，带动生产设备运动；断开开关，电动机停转，生产设备就停止运动。适用于小型设备，如风机、电钻等。使用中要注意选用负开关、电动机功率不能过大和操作方法（单手背向开关）。





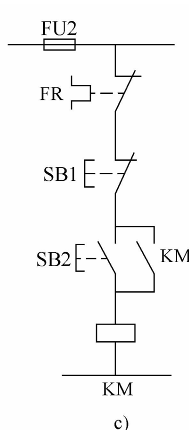


图 3-7　两种全电压直接起动控制电路

（2）按钮和接触器长动电路

图 3-7b 和图 3-7c 为按钮和接触器组成的最基本的“起-保-停”电路，又称连续工作（长动）电路。当按下起动按钮 SB2 时，接触器 KM 的线圈通电，其主控触点 KM 吸合，电动机起动，此时辅助触点 KM 也吸合；此时即使松开起动按钮，接触器 KM 线圈通过其辅助触点可以继续保持其通电，维持其吸合状态，电动机继续转动。这种利用接触器自身的触点来使其线圈保持长期通电的环节、叫“自锁（保）环节”。要停车时，按下停车按钮 SB1，接触器 KM 的线圈失电，主触点断开，电动机失电停转。

（3）既可点动又可长动电路

生产设备常常需要试车；如机床设备又常需要调整对刀，刀架、横梁、立柱也常需要快速移动等，此时需要“点动”；正常工作时又需要长动。长动与点动的主要区别就在于接触器 KM 能否自锁。

既能点动又能长动的电路如图 3-8 所示。图 3-8a 用按钮来实现：按 SB2 为长动，按 SB3 为点动；图 3-8b 用开关来实现：SA 合上为长动，SA 打开为点动；图 3-8c 用中间继电器来实现：按 SB2 为长动，按 SB3 为点动。其共同点是能自保的即为长动；不能自保的即为点动。

2. 减压起动电路

由于大容量异步电动机起动电流很大，会引起电网电压降低，使电动机转矩减小，甚至起动困难，而且还会影响其他设备的正常工作。常采用减压起动控制电路以限制起动电流和对电网及设备的冲击。常用的减压起动电路有以下几种：

（1）自耦变压器减压起动电路。

（2）定子回路串电阻减压起动电路。

（3）Y-△减压起动电路。
（4）延边△减压起动电路（需厂方提供特殊电动机，已不使用）。
（5）电动机的软起动控制。

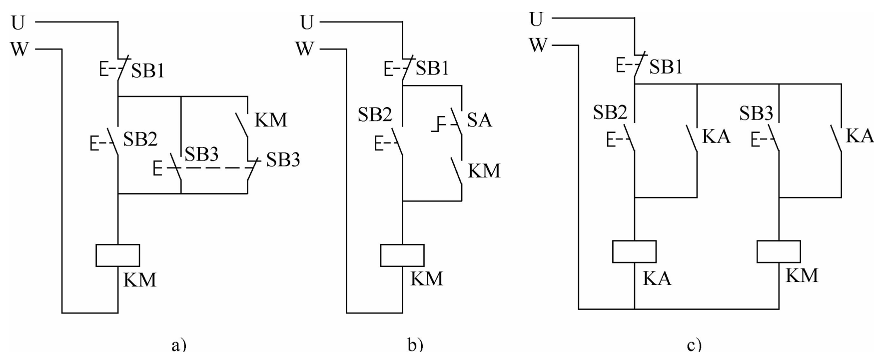


图 3-8　既可点动又可长动电路

下面分别介绍几种电路的基本原理。
（1）自耦变压器减压起动电路
自耦变压器减压起动电路如图 3-9 所示。

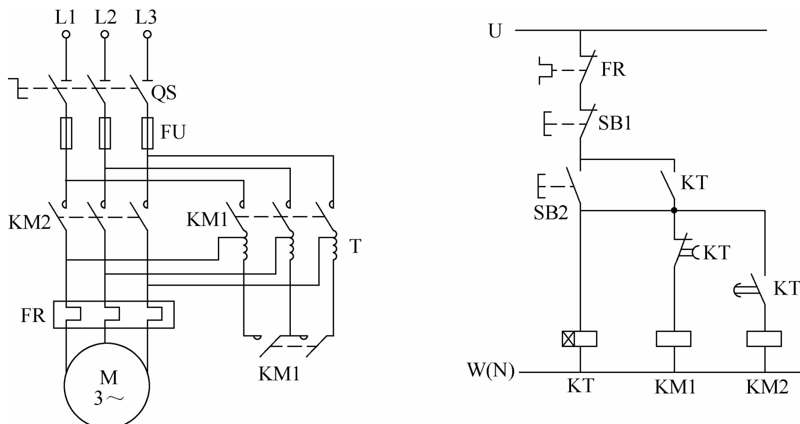


图 3-9　自耦变压器减压起动电路

它的特点是当按下起动按钮 SB2 时，接触器 KM1 首先闭合，电动机 M 经自耦变压器减压起动；经过预定的时间后，接触器 KM2 闭合，切除自耦变压器 T，电动机 M 全压运行。

（2）定子回路串电阻减压起动电路
定子回路串电阻减压起动电路如图 3-10 所示。
它的控制特点是当按下起动按钮 SB2 时，接触器 KM1 首先闭合，电动机 M 串电阻减压起动；经过预定的时间后，接触器 KM2 闭合，切除串电阻 R，电动机 M 全压运行。
（3）三相异步电动机Y-△减压起动电路电路
三相异步电动机Y-△减压起动电路如图 3-11 所示。

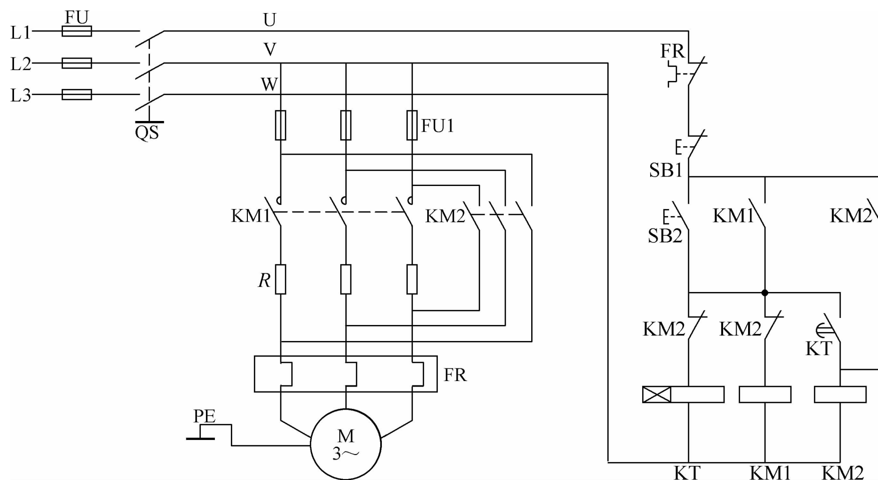


图 3-10　定子回路串电阻减压起动控制电路

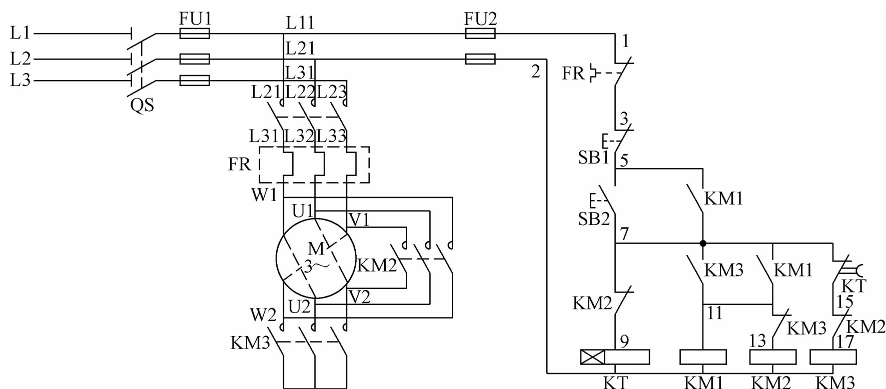


图 3-11　三相异步电动机Y-△减压起动电路

KT 为得电延时型时间继电器。在正常运行时，电动机定子绕组是连接成三角形的，起动时把它连接成星形，起动完成后再恢复成三角形。从主回路可知 KM1 和 KM3 主触点闭合，使电动机接成星形，并且经过一段延时后 KM3 主触点断开，KM1 和 KM2 主触点闭合再接成三角形，从而完成减压起动，而后再自动转换到正常速度运行。

控制电路的工作过程是：按下 SB_2，首先 KM_3 得电，接着 KM_1 得电自保，电动机Y接起动。同时，KM_3 的常闭触点断开，禁止 KM_2 得电（互锁）；此时 KT 得电，开始计时。延时一定时间后，KT 延时动断触点断开，KM_3 失电，电动机起动过程结束；KM_3 的常闭触点复位闭合，使 KM_2 得电，电动机切换到△接运行；同时 KM_2 的常闭触点断开，禁止 KM_3 得电，实现互锁。

上述 3 种减压起动电路所控制的目的都是为了限制起动电流过大，当然采用电流控制更科学更理想。但为了使电路简单、经济、实用，通常都采用时间控制来代替电流控制。这里要注意的是：图 3-9 和图 3-10 中的 KM1 和 KM2、图 3-11 中 KM2 和 KM3 不得同时得电。

（4）电动机的软起动控制

交流异步电动机软起动技术成功地解决了起动时电流大、电路电压降大、电力损耗大以及对传动机械带来破坏性冲击力等问题。交流电动机软起动装置对被控制电动机既能起到软起动，又能起到软制动作用。

交流电动机软起动是指电动机在起动过程中，装置输出的电压按一定规律上升，加在被控电动机上的电压由起始电压平滑地升到全电压，其转速随控制电压变化而发生相应的变化，即由零平滑地加速至额定转速的全过程，称为交流电动机软起动。

交流电动机软制动是指电动机在制动过程中，装置输出电压按一定规律下降，被控电动机电压由全电压平滑地降到零，其转速相应地由额定值平滑地减至零的全过程。

1）交流电动机软起动装置具有如下的功能特点：

①起动过程和制动过程中，避免了运行电压、电流的急剧变化，有益于被控制电动机和传动机械，更有益于电网的稳定运行。

②起动和制动过程中，实施晶闸管无触点控制，装置使用寿命长、故障事故率低、通常免检修。

③集相序、断相、过热、起动过电流、运行过电流和过载的检测及保护于一身，节电、安全、功能强。

④能实现以最小起始电压（电流）获得最佳转矩的节能效果。

2）交流电动机软起动装置系列产品介绍

①JTRQ 系列交流电动机软起动器。JTRQ 系列软起动器是微电脑全数字自动控制的交流电动机软起动器，采用双向晶闸管输出，利用晶闸管的输出随着触发脉冲宽度的变化而变化的软特性实现控制，适用于普通的笼型感应电动机软起动和软制动的控制。JTRQ 系列技术数据见表 3-3。

表 3-3　JTRQ 系列技术数据

电源电压/V	AC380（1±10%），三相，50Hz
斜坡上升时间/s	0.5～60（可选 2～240）
斜坡下降时间/s	1～120（可选 4～480） （斜坡上升时间和斜坡下降时间是完全独立的）
阶跃下降电平	50%、60%、70%、80%电源电压
最大电流极限上升保持时间/s	30（可选 240）
起始电压	25%、40%、55%、75%电源电压
突跳起动	可选有效或无效
突跳起动电压	70%或 90%电源电压
突跳起动时间/s	0.25、0.5、1.0、2.0
故障检测	电源或电动机缺相、控制电源异常、内部故障
微电脑和显示器能诊断显示的信号	L1 控制电源，L2 斜坡上升/相序错误（闪烁），L3 斜坡下降，L4 故障，L5 限流，L6 起动完成，L7 散热器过热，因此，利用 LED 和继电器信号，能使用户掌握有关软起动器和负载状态的详细信号

JTRQ-A 系列软起动器型号规格见表 3-4。

表 3-4　JTRQ-A 系列软起动器型号规格

序　号	型　号	电流/A	功率/kW	序　号	型　号	电流/A	功率/kW
1	JDRQ-A35	35	15	5	JDRQ-A80	80	37
2	JDRQ-A42	42	18.5	6	JDRQ-A100	100	45
3	JDRQ-A50	50	22	7	JDRQ-A120	120	55
4	JDRQ-A65	65	30	8	JDRQ-A160	160	75

JTRQ 系列交流电动机软起动器电气主电路和控制电路原理图如图 3-12 所示。

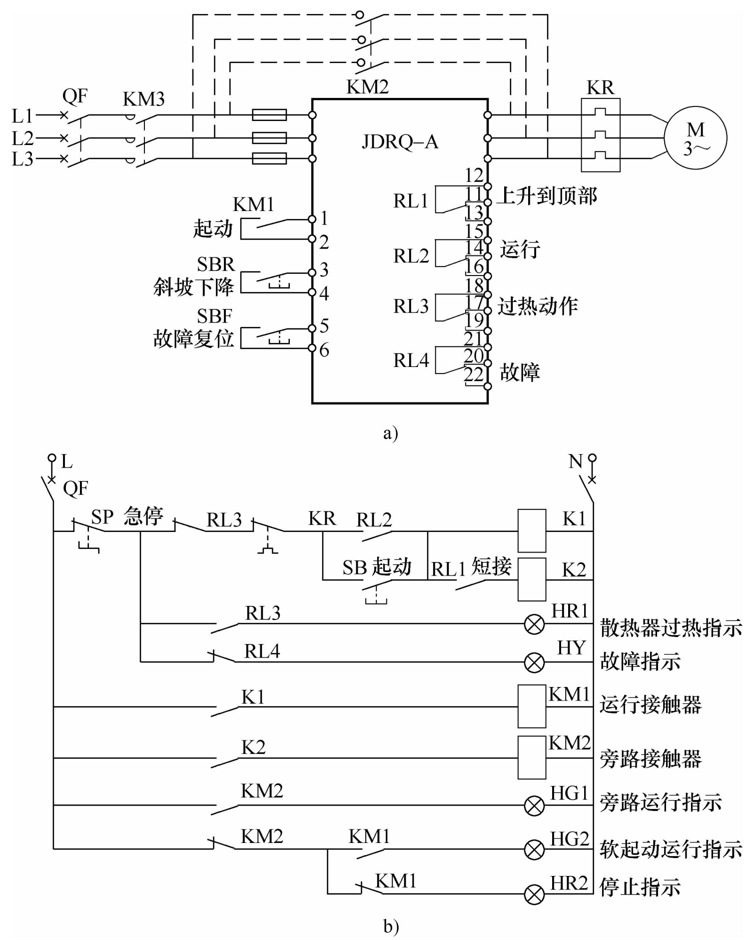


图 3-12　TRQ 系列交流电动机软起动器电气主电路和控制线路原理图

JTRQ 系列软起动器控制板布置及端子说明如图 3-13 所示，端子及功能见表 3-5。

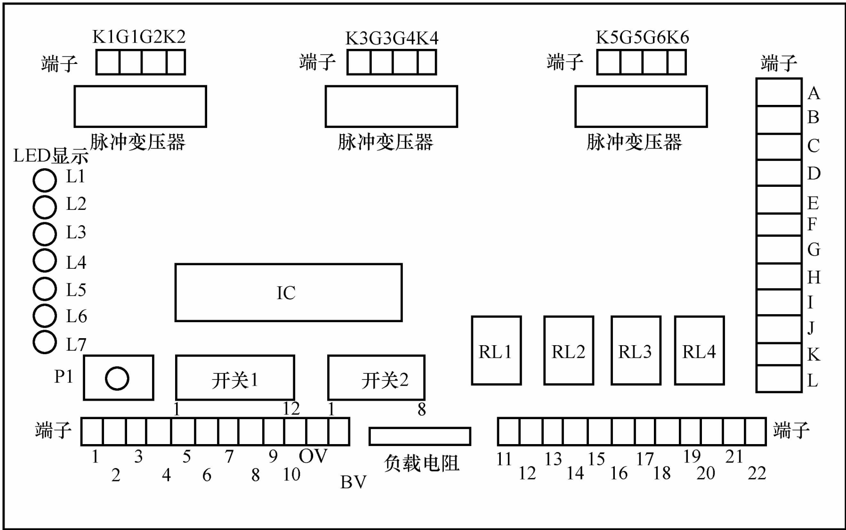


图3-13　JTRQ系列软起动器控制板布置及端子说明

表3-5　JTRQ系列软起动器端子及功能表

端子说明	功　　能	备　　注
K1、G1	晶闸管1阴极和门极	
K2、G2	晶闸管2阴极和门极	
K3、G3	晶闸管3阴极和门极	
K4、G4	晶闸管4阴极和门极	
K5、G5	晶闸管5阴极和门极	
K6、G6	晶闸管6阴极和门极	
1、2	起动（必须保持闭合到运行）	
3、4	斜坡下降（瞬时或永久）	
5、6	故障复位	
11、12、13	RL_1：NC、COM、NO起动完成	NC=常闭，NO=常开
14、15、16	RL_2：NC、COM、NO运行	
17、18、19	RL_3：NC、COM、NO过热	
20、21、22	RL_4：NC、COM、NO故障	
C、D、E	CT1输入、公共、CT2输入	CT1、CT2、为电流互感器二次
K、L、I、J	交流控制电源输入	
G、H	交流触发电源输入	

②CDJR1系列数字式电动机软起动器。CDJR1系列数字式软起动器可应用在5.5～500kW交流电动机的起动及制动控制上。它可以替代Y-△起动、电抗器起动、自耦降压起动等老式起动设备，可应用于机床、冶金、化工、建筑、水泥、矿山、环保等工业领域中。

CDJR1系列数字式软起动器技术数据，见表3-6。

表 3-6　CDJR1 系列数字式软起动器技术数据

功　能		设定范围	出厂值	说　明
代号	名称			
0	起始电压/V	40～380	120	电压模式有效
1	起始时间/s	0～20	5	电压模式有效
2	起动上升时间/s	0～500	10	电压模式有效
3	软停车时间/s	0～200	2	设为零时自由停车
4	起动限制电流（%）	50～400	250	限流模式有效
5	过载电流（%）	50～200	150	测定值百分比
6	运行过流（%）	50～300	200	额定值百分比
7	起动延时/s	0～999	0	外控延时起动
8	控制模式	0～1	0	0：限流起动　1：斜坡电压起动
9	键盘控制	1～6	1	1：键盘　2：外控 3：键盘＋外控　4：PC 5：PC＋键盘　6：PLC＋外控
A	输出断相保护	0～1	0	0：有　1：无
B	显示方式	0～500	0	0：按额定电流百分比 XXX：选实际功率额定值
C	外部故障控制	0～2	0	0：不用　1：用　2：多用一备
D	远控方式	0～1	0	0：三线控制；1：双线控制
E	本机地址	0～60	0	用于串口通信
F	参数设定保护	0～1	0	0：允许修改　1：不允许修改
EY	修改设定保护	此状态下允许改变数据		
A	起动上升状态	1. 显示电流值 XXXA 或额定值百分比 2. 延时起动时显示时间 DETTT		
－A	运行状态			
－A	软停车状态			

注：X 为 0～9 数值，Y 为 0～F 数字。

CDJR1 系列软起动电气设备电路连接如图 3-14 所示。

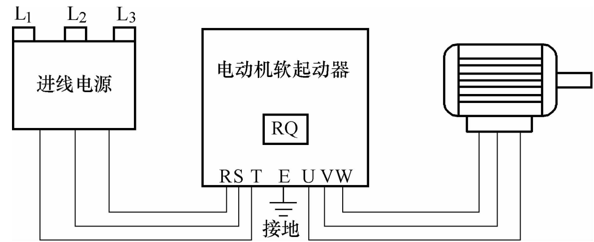


图 3-14　CDJR1 系列软起动电气设备电路连接图

CDJR1 系列软起动器基本电路框图如图 3-15 所示。它利用晶闸管可控制的输出特性来实现对电动机软起动的控制。当电动机起动之后，晶闸管退出，交流接触器投入。

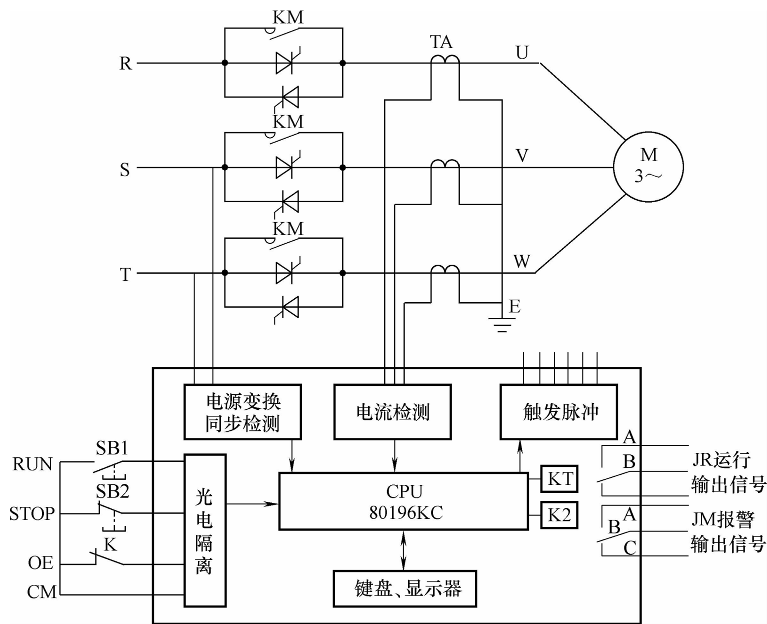


图 3-15　CDJR1 系列软起动器基本电路框图

主电气电路和控制电路接线端子表见表 3-7。

表 3-7　主电气电路和控制电路接线端子表

	端子标记	端子名称	说　　明
主电路	R、S、T	主回路电源端	连接三相电源
	U、V、W	起动器输出端	连接三相电动机
	E	接地端	金属框架接地(防电击事故和干扰)
控制电路	端子标记	端子名称	说　　明
	CM	接点输入公共端	接点输入信号的公共端
	RUN	起动输入端	RUN-CM 接通时电动机开始运行
	STOP	停止输入端	STOP-CM 断开时电动机进入停止状态
	OE1、2、3	外部故障输入端	OE-CM 断开时电动机立即停止
	JRA、B、C	运行输出信号	JRA-JRB 为常开触点,JRB-JRC 为常闭触点
	JMA、B、C	报警输出信号	JMA-JMB 为常开触点,JMB-JMC 为常闭触点

可见，起动控制器有七个接线端，R、S、T 通过空气断路器接入（无相序要求）。E 端必须牢固接地，U、V、W 为输出端与电动机连接。经试运转可通过换接 R、S、T 中任两端或换接，U、V、W 任意两端改变电动机转向。

3.2.2　电动机的正反转可逆控制电路

1. 电动机的正反转可逆控制电路

有些生产设备需要正反两个方向运行，这就要求电动机能够正反转。由电动机工作原理

可知，只要把电动机定子绕组的任意两相调换一下接到电源上去，电动机定子的相序即可改变，从而就可改变电动机的转向了。如果用两个接触器 KM1 和 KM2 来完成电动机定子绕组相序的改变，那么控制这两个接触器 KM1 和 KM2 来实现正转与反转的起动和转换的控制电路就是正反转控制电路，如图 3-16 所示。

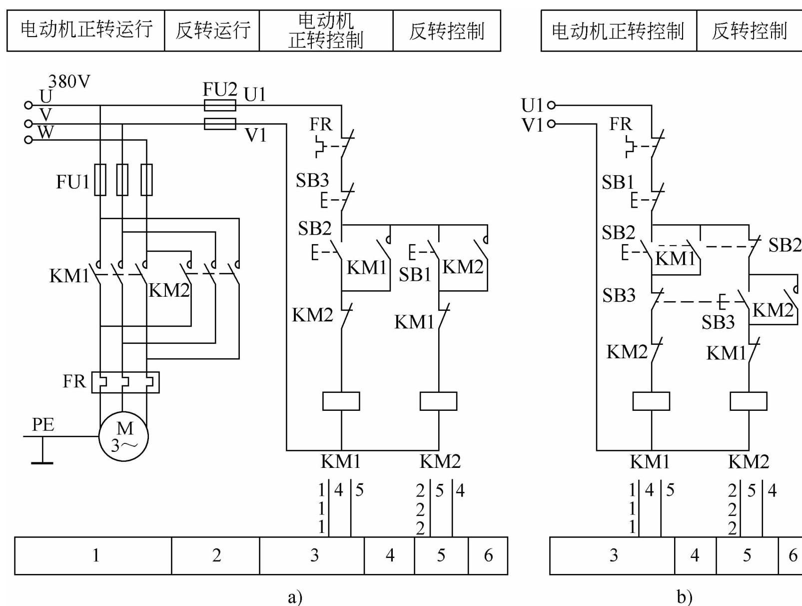


图 3-16　三相交流电动机的正反转控制电路

从图 3-16 所示主电路上看，如果 KM1 和 KM2 同时接通，就会造成主电路的短路，故电路中需要有可靠的互锁保护措施。即将两接触器的动断触点互相串联在对方的控制电路中，这样当一方线圈得电时，由于其动断触点打开，使另一方线圈不能通电，此时即使按下另一方的起动按钮，也不能造成短路。在控制电路中，这种两个或多个电器不能同时得电动作，相互之间有排他性的相互制约（禁止）的关系称为互锁。

从图 3-16a 中可以看出，如果电动机正在正转，想要反转，需先停止正转，然后才能起动反转，显然操作不方便。可以使用复合按钮解决这一问题，如图 3-16b 所示，正反转可以直接切换，使用复合按钮同时还可以起到操作互锁作用。这是由于按下 SB2 时，只有 KM1 可得电动作，同时 KM2 回路被切断。同理按下 SB3 时，只有 KM2 可得电动作，同时 KM1 回路被切断。但要注意：如果只用按钮进行操作互锁，而不用接触器动断触点之间的互锁，是不可靠的。因为在实际中可能会出现这样的情况，由于负载短路或大电流的长期作用，接触器的主触点被强烈的电弧“烧焊”在一起，或者接触器的机构失灵，使衔铁卡住总是处在吸合状态，这都可能使主触点不能断开，这时如果另一接触器动作，就会造成电源短路事故。如果用的是接触器动断触点进行互锁，不论什么原因，只要一个接触器是吸合状态，它的互锁动断触点就必然将另一接触器线圈电路切断，这就能避免事故的发生。图 3-16b 为按钮和接触器双重互锁正反转控制电路，其中接触器动断触点之间的互锁是必不可少的。

2. 行程控制机床工作台等自动循环控制电路

行程控制就是按照被控制对象的位置变化进行控制。行程控制需要行程开关来实现，当被控制对象的运动部件到达某一位置或在某一段距离内时，行程开关动作并使其动合触点闭合，动断触点断开。机床工作台的自动循环控制电路如图 3-17a 所示。

在图 3-17a 中，行程开关 ST1 的动断触点串联在 KM1 控制电路中，而它的动合触点是与 KM2 的起动控制按钮 SB2 并联，这样当工作台由 KM1 控制前进（向左）到一定位置碰触到 ST1 时，由于 ST1 断触点受压断开，KM1 失电，工作台停止前进；而 ST1 动合触点受压闭合，起动 KM2，KM2 得电自锁，控制工作台自动退回（向右）；当退至原位触碰 ST2 时，ST2 动断触点断开，又使 KM2 关断，使工作台停止后退。继而 ST2 动合触点闭合又重新起动 KM1，使工作台再次前进；即实现了工作台的自动往复工作。上述工作过程可用图 3-17b 的动作图进行描述。

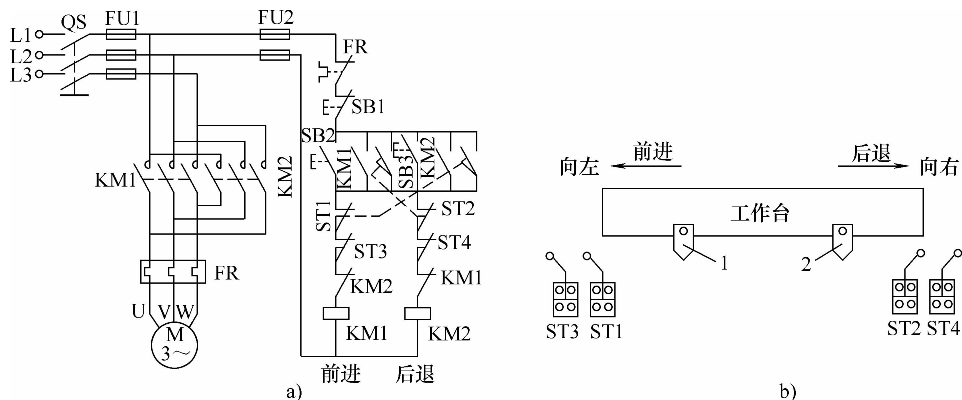


图 3-17　机床的行程控制电路

除行程开关 ST1 和 ST2 外，还有开关 ST3 与 ST4 安装在行程极限位置。当由于某种原因工作台到达 ST1 与 ST2 位置时，未能切断电动机，工作台将继续移动到极限位置，压下 ST3 或 ST4，此时可使电动机停止，避免由于超出允许位置所导致的事故，因此 ST3 与 ST4 起到超行程的限位保护作用。

工作台往复工作自动循环控制电路，实现的是两个工步的交替执行的顺序控制，两个行程开关交替发出切换信号，控制两个工步的转换。若加在某个工艺过程中包含有多个工步时，则可由多个行程开关来顺序实现多工步的切换。

3.2.3　多台电动机的顺序控制

在电气控制电路中，常要求电动机或其他电器有一定的得电顺序。如某些机床主轴须在液压泵工作后才工作；龙门刨床工作台移动时，导轨内必须有足够的润滑油；在主轴旋转后，工作台方可移动等。这种先后顺序配合关系称为连锁。其控制电路有多种多样。如图 3-18 所示为 4 台电动机起动顺序控制，前级电动机不起动时，后级电动机也无法起动，如电动机 M1 不起动，则电动机 M2 也无法起动；依此类推，前级电动机停止时，后级电动机也停止，如电动机 M2 停止，则电动机 M3，M4 也停止。

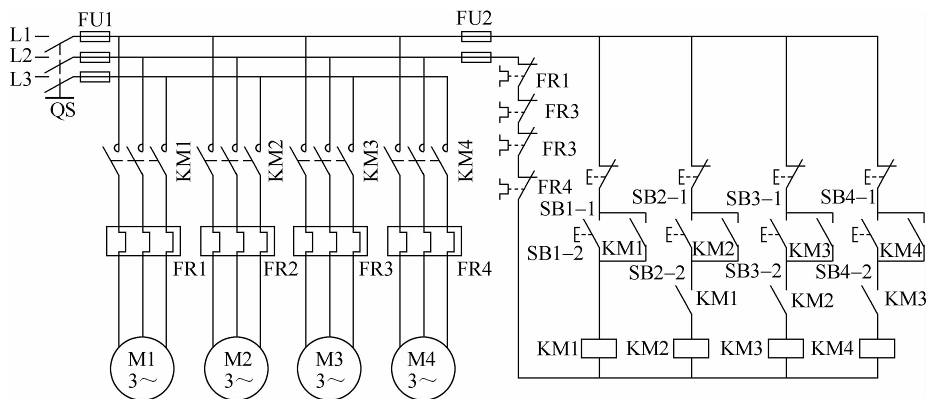


图 3-18　起动顺序控制

图 3-19 为 3 段传送带电动机顺起/逆停加延时电路。当按下起动按钮 SB_1 时，电动机 M3 起动运行，2s 后电动机 M2 起动运行，再过 2s 后电动机 M1 起动运行；按下停止按钮 SB_0 停止时，电动机 M1 立刻停止，延时 2s 后 M2 停止，M3 在 M2 停 2s 后停止。

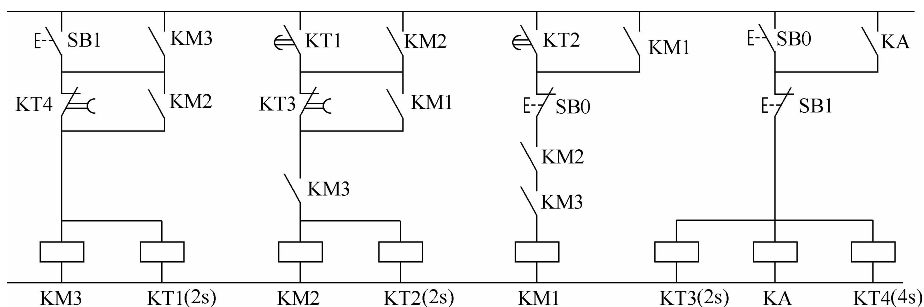


图 3-19　三段传送带电动机顺起/逆停加延时电路

3.2.4　一台电动机的多地点控制

在大型电气设备中，为了操作方便或安全起见，常用到多地点控制。这时的电气控制电路，即使较复杂，通常也是由动合和动断触点串联或并联组合而成。现把它们的相互关系归纳为以下几个方面：

（1）动合触点串联

当要求几个条件同时具备时，才使电器线圈得电动作，可用几个常开触点与线圈串联的方法实现。

（2）动合触点并联

当在几个条件中、只要求具备其中任一条件，所控制的继电器线圈就能得电，这可以通过几个动合触点并联来实现。

（3）动断触点串联

当几个条件仅具备一个时，被控制电器线圈就断电，可用几个动断触点与被控制电器线圈串联的方法来实现。

（4）动断触点并联

当要求几个条件都具备时、电器线圈才断电，可用几个动断触点并联，再与被控制的电

器线圈串联的方法来实现。

图 3-20 为三地点控制的电路图。a 为普通设备三地点分别控制；b 为重要设备三地点同时启动、分别停止。

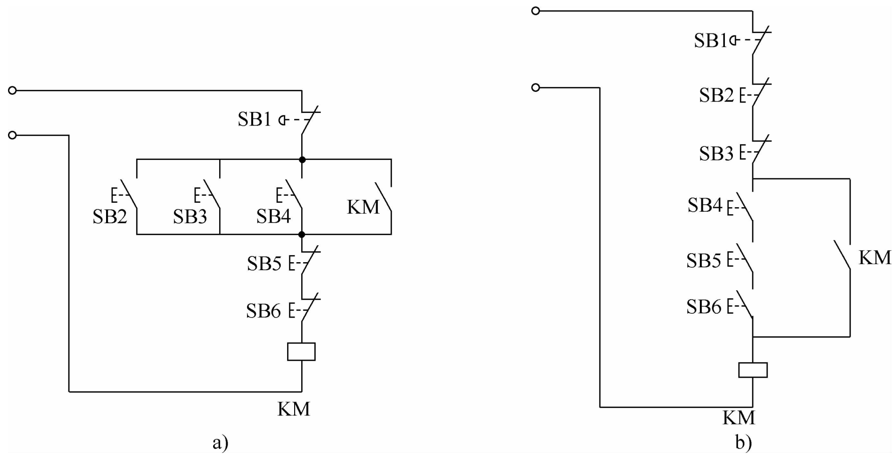


图 3-20　三地点控制

3.2.5　双速电动机的高低速控制电路

双速电动机高低速控制电路如图 3-21 所示。

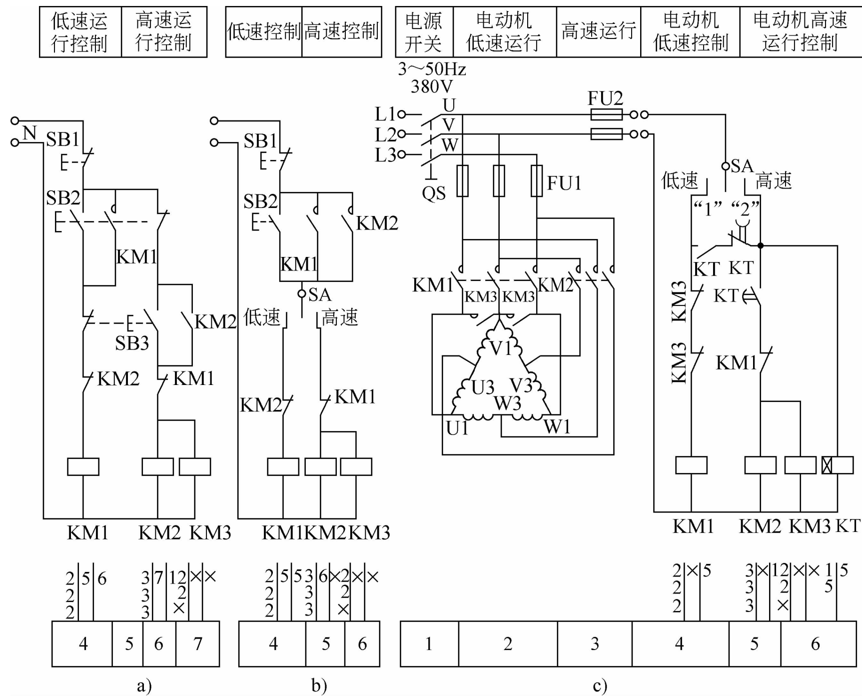


图 3-21　时间继电器控制的双速电动机高低速控制线路图

双速电动机在机床，诸如车床、铣床等中都有较多应用。双速电动机是由改变定子绕组的联接方式即改变极对数来调速的。若将出线端 U1、V1、W1 接电源，U2、V2、W2 悬空，

每相绕组中两线圈串联，双速电动机 M 的定子绕组接成△接法，有四个极对数（4 极电动机），低速运行；若将出线端 U1、V1、W1 短接，U2、V2、W2 接电源，每相绕组中两线圈并联，极对数减半，有两个极对数（2 极电动机），双速电动机 M 的定子绕组接成丫丫接法，高速运行。

图 3-20a 和图 3-20b 为直接控制高/低速起动运行，控制较为简单。图 3-20c 中，SA 为高/低速电动机 M 的的转换开关，SA 有 3 个位置：当 SA 在中间位置时，高/低速均不接通，电动机 M 处于停机状态；当 SA 在“1”位置时低速起动接通，接触器 KM1 闭合，电动机 M 定子绕组接成△接法低速运转；当 SA 在“2”位置时电动机 M 先低速起动，延时一整定时间后，低速停止，切换到高速运转状态，即接触器 KM1、KT 首先闭合，双速电动机 M 低速起动，经过 KT 一定的延时后，控制接触器 KM1 释放、接触器 KM2 和 KM3 闭合，双速电动机 M 的定子绕组接成丫接法，进入高速运转。

3.2.6　电动机的停机制动控制电路

高速旋转的电动机储存有大量的机械能，要想快速停下来必需采取制动措施，如机械报闸。在电气上常采用时间控制的能耗制动和转速控制的反接制动电路。

1. 时间控制的电动机能耗制动电路

时间控制的电动机能耗制动电路如图 3-22 所示。

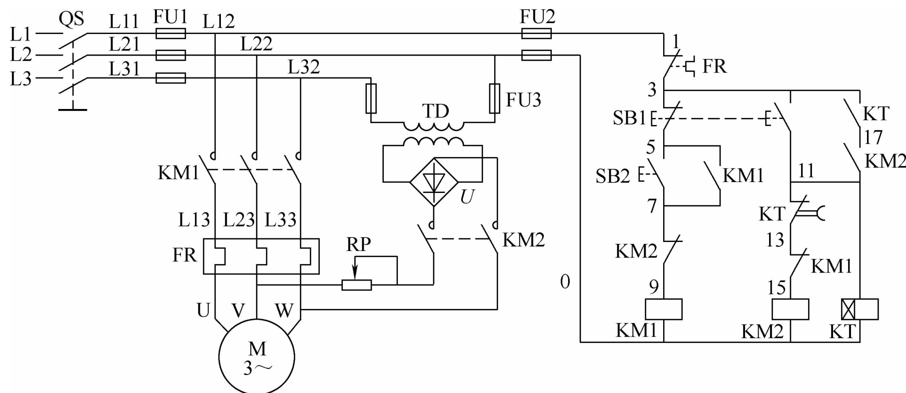


图 3-22　时间继电器控制的机床能耗制动控制电路图

在图 3-22 中，SB2 用于起动，KM1 为正常工作用接触器；SB1 用于停机制动，KM2 为制动用接触器。若在电动机正常运行时，按下 SB1，KM1 失电，首先切除交流运行电源。制动接触器 KM2 及时间继电器 KT 得电，KM2 得电自锁使直流电接入主回路进行能耗制，KT 得电开始计时。当速度接近零时，延时时间到，KT 的延时动断触点打开，KM2 失电，主电路中 KM2 主触点打开，切断直流电源，制动结束。这里要控制的参量是转速，但使用的控制原则是时间。应注意 KM1 和 KM2 不得同时得电，需要有可靠的互锁。

2. 转速控制的反接制动电路

为防止电动机制动停机时的反向起动，必须及时切除电动机反接制动电源，其控制原则必须要采用转速。正常运行时，速度继电器 KS 的动合触点闭合。当需要制动时变换其中任意两相电源相序使电动机定子绕组立即进入反接制动状态。当电动机转速下降接近于零时，

KS 动合触点立即断开、快速切断电动机电源，有效防止了电动机反向起动。为限定反接制动电流过大，可串入限流电阻。常用的电路有单向反接制动电路和双向可逆反接制动电路。

（1）单向反接制动电路

转速控制的单向反接制动电路如图 3-23 所示。

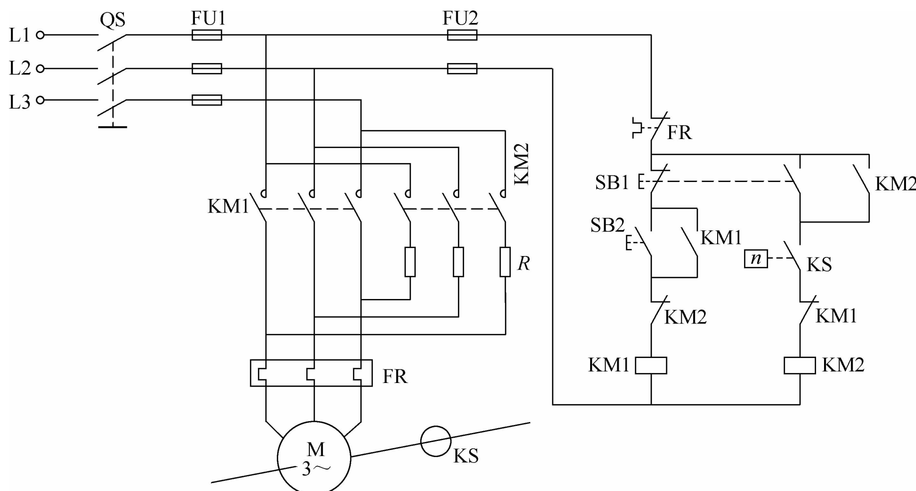


图 3-23　单向反接制动控制电路原理图

在图 3-23 中，按钮 SB2 为电动机 M 正转起动按钮，SB1 为电动机 M 的制动停止按钮；KS 为速度继电器。串接在反转电路中的速度继电器的常开触点 KS 为电动机制动触点，电动机在起动过程中，当其速度达到 120 r/min 时，这个触点闭合，为电动机停机时加反接制动电源作好准备。当停机时按动停止按钮 SB1 后，正常运行的接触器 KM1 断开，切断正常运行的电源；反接制动的接触器 KM2 闭合，接通反接制动的电源，电动机开时反接制动；当电动机转速下降到 100r/min 时，其正常运行时为电动机反接制动作好准备的速度继电器已闭合的常开触点 KS 及时断开，切除了反接制动的电源，反接制动结束，电动机及时停机，又防止了反方向起动。这里采用速度控制及时准确、安全可靠，恰到火候。

（2）双向可逆反接制动电路

双向可逆反接制动电路如图 3-24 所示。

在图 3-24 中，按钮 SB2 为电动机 M 正转起动按钮，SB3 为反转起动按钮，SB1 为电动机 M 的制动停止按钮；KS 为速度继电器。串接在反转电路中的速度继电器的常开触点 KSR 为电动机正转制动触点，电动机正转过程中，当其速度达到 120r/min 时，这个触点闭合，为电动机正转反接制动作好准备。串接在正转电路中的速度继电器的常开触点 KSF 为电动机反转制动触点。电动机反转过程中，当其速度达到 120r/min 时，这个触点闭合，为电动机反转反接制动作好准备。当停机时按动停止按钮 SB1 后，中间继电器 KA 得电自保，正常运行的接触器断开，切断正常运行的电源；反接制动的接触器闭合，接通反接制动的电源，电动机开时反接制动；当电动机转速下降到 100r/min 时，其正常运行时为电动机反接制动作好准备的相应速度继电器已闭合的常开触点（KSR 或 KSF）及时断开，切除了反接制动的电源，反接制动结束，中间继电器 KA 是为更安全可靠而增加的。因为在停车期间、如遇调整、对刀等，需用手转动机床主轴，则速度继电器的转子也将随着转动，其动合触点闭

合，反向接触器得电动作，电动机处于反接制动状态，不利于调整工作。为解决这个问题，故在该控制电路中增加了一个中间继电器 KA，这样在用手转动电动机时，虽然 KS 的动合触点闭合，但只要不按停止按钮 SB1，KA 失电，反向接触器不会得电，电动机也就不会反接于电源。只有操作停止按钮 SB1 时，制动电路才能接通，保证了操作者的人身安全。

图 3-24　双向可逆反接制动电路

3.2.7　电气控制中的其他常用控制电路

1. 绕线转子电动机串电阻限制起动电流的控制电路

电流的强弱既可以作为电路或电气元件保护动作的依据，也可以反映生产设备控制中其他物理量如机床的卡紧力或扭矩等控制信号的大小。通常电流控制是借助于电流继电器来实现的，当电路中的电流达到某一预定值时，电流继电器的触点动作，切换电路，达到电流控制的目的。图 3-25 是绕线转子电动机根据转子电流大小的变化来控制电阻短接的起动控制电路，其中主电路转子绕组中除串接起动电阻外，还串接有电流继电器 KA2、KA3 和 KA4 的线圈，三个电流继电器的吸合电流都一样，但是释放电流不同，KA2 释放电流最大，KA3 次之，KA4 最小。当刚起动时，起动电流很大，电流继电器全部吸合，控制电路中的动断触点打开，接触器 KM2、KM3、KM4 的线圈不能得电吸合，因此全部起动电阻接入，随着电动机转速升高，电流变小，电流继电器根据释放电流的大小等级依次释放，使接触器线圈依次得电，主触点闭合，逐级短接电阻，直到全部电阻都被短接，电动机起动完毕，进入正常运行。

图 3-26 为电流控制的直流电动机串电阻起动和能耗制动控制电路图。其电枢回路需要有限制过电流的控制作用，故在电枢回路串入过电流继电器 KA1。当电枢回路的电流超过设定值时过电流继电器动作，KM1 断开，切断电枢回路，保护直流电动机电枢回路中电流不超过设定值；其磁场回路中有励磁绕组欠磁场保护控制，故在电枢回路串入欠电流继电器 KA2，当励磁绕组中电流太弱或失磁时 KA2 动作，切断电枢回路，防止直流电动机弱磁转速过高或发生失磁飞车事故。

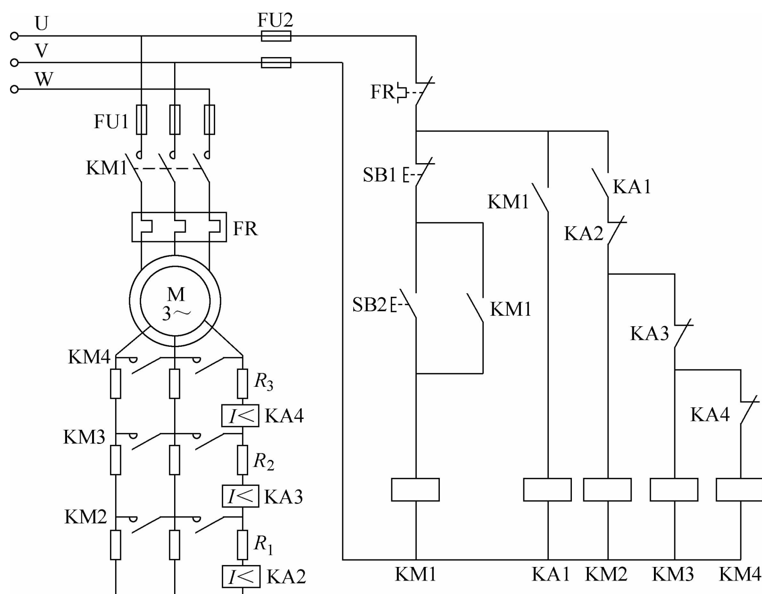


图 3-25　绕线转子交流电动机串电阻限制起动电流的控制电路

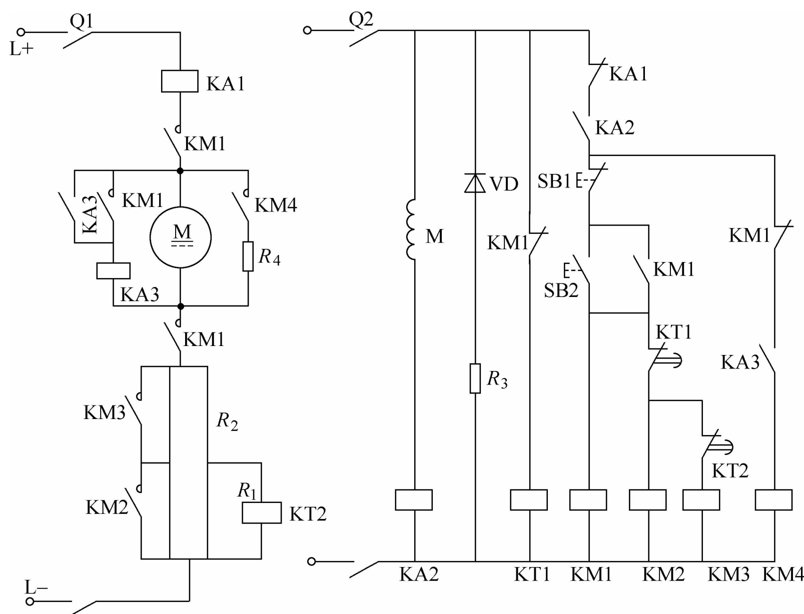


图 3-26　电流控制的直流电动机串电阻起动和能耗制动控制电路图

2. 绕线转子电动机频敏变阻器起动控制电路

利用电动机转子频率的变化也可实现生产设备运行状态的控制，例如绕线转子电动机频敏变阻器起动控制和交流电动机的变频调速控制。

频率控制的绕线转子电动机频敏变阻器起动控制电路图如图 3-27 所示。

我国独创的频敏变阻器是利用铁磁材料的频敏特性，制成阻抗随转子频率（即转差率 *S*）自动变化的起动器。当电动机起动时，转子频率较高，在频敏变阻器内与频率平方成正

比的涡流损耗 r_m 较大，起到了限制起动电流及增大起动转矩的作用。随着转速上升，转子频率不断下降，r_m 跟着下降。当转速接近额定值时，转子频率很低，等效电阻很小，满足了电动机平滑起动要求。起动过程结束后，应将集电环短接，把频敏变阻器切除。适于轻载和重轻载起动。它是绕线转子异步电动机较为理想的一种起动设备。常用于较大容量的绕线转子异步的起动控制。

交流电动机的变频调速属于现代高新科技范畴，另有专门技术介绍，这里从略。

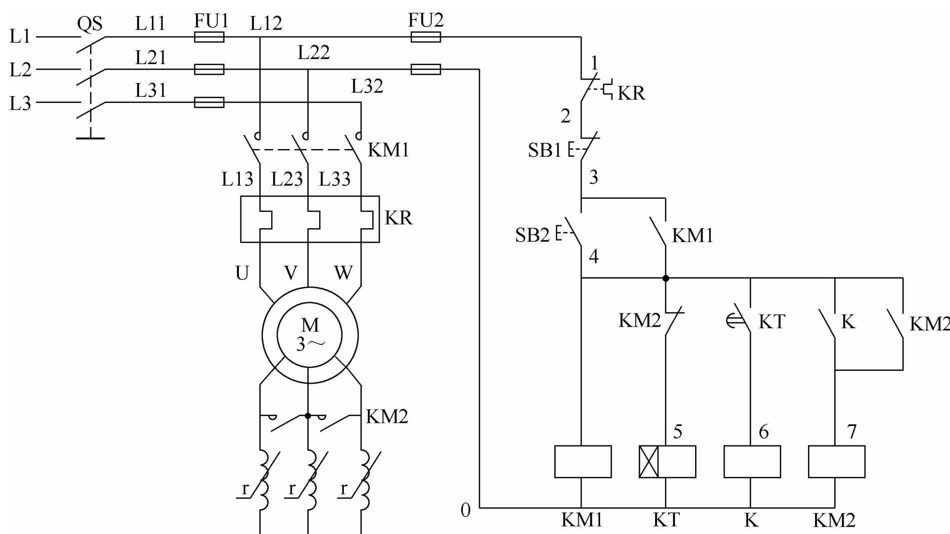


图 3-27　频率控制的绕线转子电动机频敏变阻器起动控制电路图

3.2.8　生产设备中的电液控制电路

液压传动系统能够提供较大的驱动力，并且运动传递平稳、均匀、可靠、控制方便。当液压系统和电气控制系统组合构成电液控制系统时，很容易实现自动化，电液控制被广泛地应用在各种机床设备上。电液控制是通过电气控制系统控制液压传动系统按给定的工作运动要求完成动作。液压传动系统的工作原理及工作要求是分析电液控制电路工作的一个重要环节。

1. 液压系统组成

如图 3-28a 所示，液压传动系统主要由 4 个部分组成：

（1） 动力装置（液压泵及传动电动机）。

（2） 执行机构（液压缸或液压马达）。

（3） 控制调节装置（压力阀、调速阀、换向阀等）。

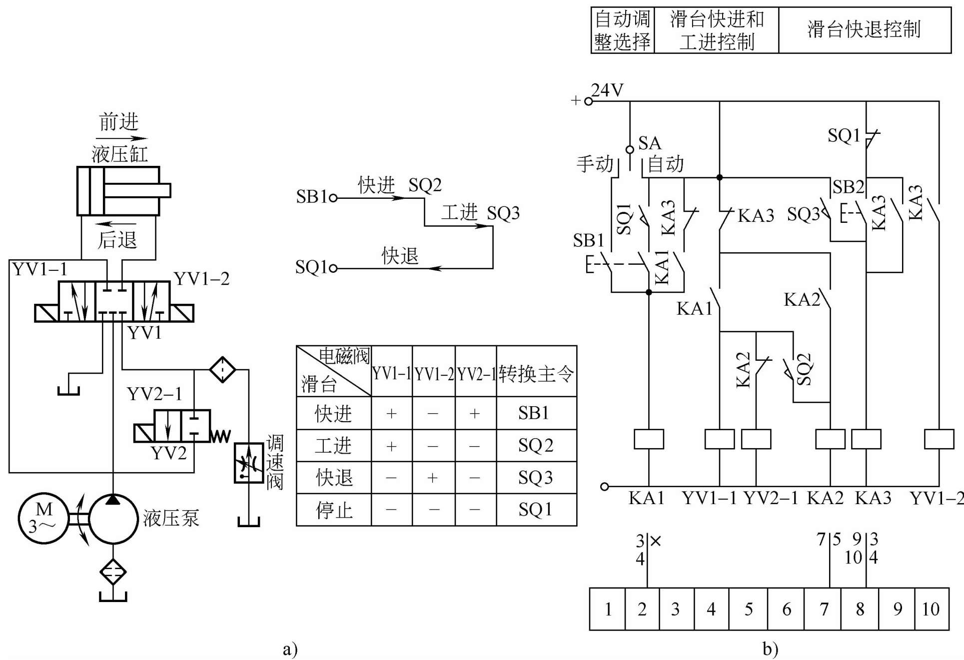
（4） 辅助装置（油箱、油管等）。

由电动机拖动的液压泵为电液系统提供压力油，推动执行件液压缸活塞移动或者液压马达转动，输出动力。控制调节装置中，压力阀和调速阀用于调定系统的压力和执行件的运动速度，方向阀用于控制液流的方向或接通、断开油路，控制执行件的运动方向和构成液压系统工作的不同状态，满足各种运动的要求。辅助装置提供油路系统。

液压系统工作时，压力阀和调速阀的工作状态是预先调整好的固定状态，只有方向阀根据工作循环的运动要求而变化工作状态，形成各工步液压系统的工作状态，完成不同的运动

输出。因此对液压系统工作自动循环的控制，就是对方向阀工作状态进行控制。

方向阀因其阀结构的不同而有不同的操作方式，可用机械、液压和电动方式改变阀的工作状态，从而改变液流方向，或接通、断开油路。电液控制中是采用电磁铁吸合推动阀芯移动，改变阀工作状态的方式，实现控制。



电磁阀 / 滑台	YV1−1	YV1−2	YV2−1	转换主令
快进	+	−	+	SB1
工进	+	−	−	SQ2
快退	−	+	−	SQ3
停止	−	−	−	SQ1

图 3-28　组合机床液压动力滑台电液控制系统

2. 电磁换向阀

由电磁铁推动改变工作状态的阀称为电磁换向阀，其图形符号如图 3-29 所示。从图 3-29a 可知两位阀的工作状态，当电磁阀线圈通电时，换向阀位于一种通油状态；线圈失电时，在弹簧力的作用，换向阀复位处于另一种通油状态；电磁阀线圈的通断电控制了油路的切换。图 3-29d 为三位阀，阀上装有两个线圈，分别控制阀的两种通油状态；当两电磁阀线圈都不通电时，换向阀处于第 3 种的中间位通油状态；需注意的是两个电磁阀线圈不能同时得电，以免阀的状态不确定。

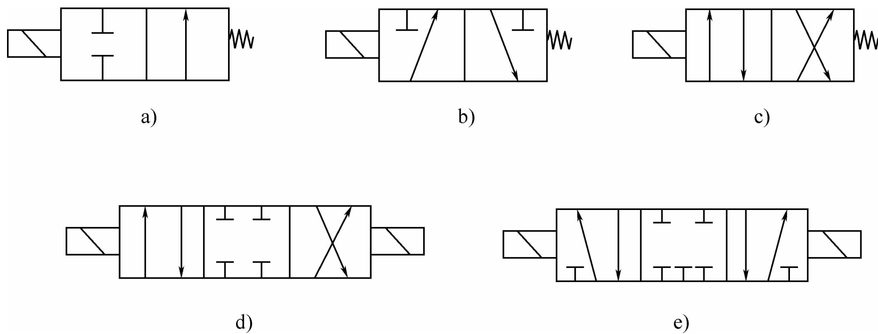


图 3-29　电磁换向阀图形符号

a）二位二通阀　b）二位三通阀　c）二位四通阀　d）三位四通阀　e）三位五通阀

电磁换向阀有两种，即交流电磁换向阀和直流电磁换问阀，由阀上电磁阀线圈所用电源种类确定，实际使用中根据控制系统和设备需要而定。电液控制系统中，控制电路根据液压系统工作要求控制电磁换向阀线圈的通断电来实现所需运动输出。

3. 液压系统工作自动循环控制电路

组合机床液压动力滑台工作自动循环控制是一典型的电液控制，下面将其作为例子，分析液压系统工作自动循环的控制电路。

液压动力滑台是机床加工工件时完成进给运动的动力部件，由液压系统驱动，自动完成加工的自动循环。滑台工作循环的工步顺序与内容，各工步之间的转换主令，和电动机驱动的自动工作循环控制一样，由设备的工作循环图给出。电液控制系统的分析通常分为 3 步：

1）工作循环图分析。以确定工步顺序及每步的工作内容，明确各工步的转换主令。

2）液压系统分析。分析液压系统的工作原理，确定每工步中应通电的电磁阀线圈，并将分析结果和工作循环图给出的条件通过动作表的形式列出，动作表上列有每个工步的内容、转换主令和电磁阎线圈通电状态。

3）控制电路分析。根据动作表给出的条件和要求，逐步分斩电路如何在转换主令的控制下完成电磁阀线圈通断电的控制。

液压动力滑台一次工作进给的控制如图 3-30 所示。电路液压动力滑台的自动工作循环计有 4 个工步：滑台快进、工进、快退及原位停止，分别由行程开关 SQ_2、SQ_3、SQ_1 及 SB_1 控制循环的起动和工步的切换。对应于 4 个工步，液压系统有 4 个工作状态，满足活塞的 4 个不同运动要求。

其工作原理如下：动力滑台快进，要求电磁换向阀 YV_1 在左位，压力油经换向阀进入液压缸左腔，推动活塞右移，此时电磁换向阀 YV_2 也要求位于左位，使得油缸右腔回油经 YV_2 阀返回液压缸左腔，增大液压缸左腔的进油量，活塞快速向前移动。为实现上述油路工作状态，电磁阀线圈 YV_{1-1}必须通电，使阀 YV_1 切换到左位，YV_{2-1}通电使 YV_2 切换到左位。动力滑台前移到达工进起点时，压下行程开关 SQ_2，动力滑台进入工进的工步。动力滑台工进时，活塞运动方向不变，但移动速度改变，此时控制活塞运动方向的阀 YV_1 仍在左位，但控制液压缸右腔回油通路的阀 YV_2 切换到右位，切断右腔回油进入左腔的通路，而使液压缸右腔的回油经调速阀流回油箱，调速阀节流控制回油的流量，从而限定活塞以给定的工进速度继续向右移动，YV_{1-1}保持通电，使阀 YV_1 仍在左位，但 YV_{2-1}断电，使阀 YV_2 在弹簧力的复位作用下切换到右位，满足工进油路的工作状态。工进结束后，动力滑台在终点压动终点限位开关 SQ_3，转入快退工步。滑台快退时，活塞的运动方向与快进、工进时相反，此时液压缸右腔进油，左腔回油，阀 YV_1 必须切换到右位，改变油的通路，阀 YV_1 切换以后，压力油经阀 YV_1 进入液压缸的右腔，左腔回油经 YV_1 直接回油箱，通过切断 YV_{1-1}的线圈电路使其失电，同时接通 YV_{1-2}的线圈电路使其通电吸合，阀 YV_1 切换到右位，满足快退时液压系统的油路状态。动力滑台快速退回到原位以后，压动原位行程开关 SQ_1，即进入停止状态。此时要求阀 YV_1 位于中间位的油路状态，YV_2 处于右位，当电磁阀线圈 YV_{1-1}、YV_{1-2}、YV_{2-1}均失电时，即可满足液压系统使滑台停在原值的工作要求。

控制电路中 SA 为选择开关，用于选定滑台的工作方式。开关扳在自动循环工作方式时，按下起动按钮 SB_1，循环工作开始，其工作过程如电器动作顺序图 3-30 所示。SA 扳到

手动调整工作方式时，电路不能自锁持续供电，按下按钮 SB_1 可接通 $YV_{1\text{-}1}$ 与 $YV_{2\text{-}1}$ 线圈电路，滑台快速前进，松开 SB_1，$YV_{1\text{-}1}$ 与 $YV_{2\text{-}1}$ 线圈失电，滑台立即停止移动，从而实现点动向前调整的动作。SB_2 为滑台快速复位按钮，当由于调整前移或工作过程中突然停电的原因，滑台没有停在原位不能满足自动循环工作的起动条件，即原位行程开关 SQ_1 必须处于受压状态时，通过压下复位按钮 SB_2，接通 $YV_{1\text{-}2}$ 线圈电路，滑台即可快速返回至原位，压下 SQ_1 后停机。

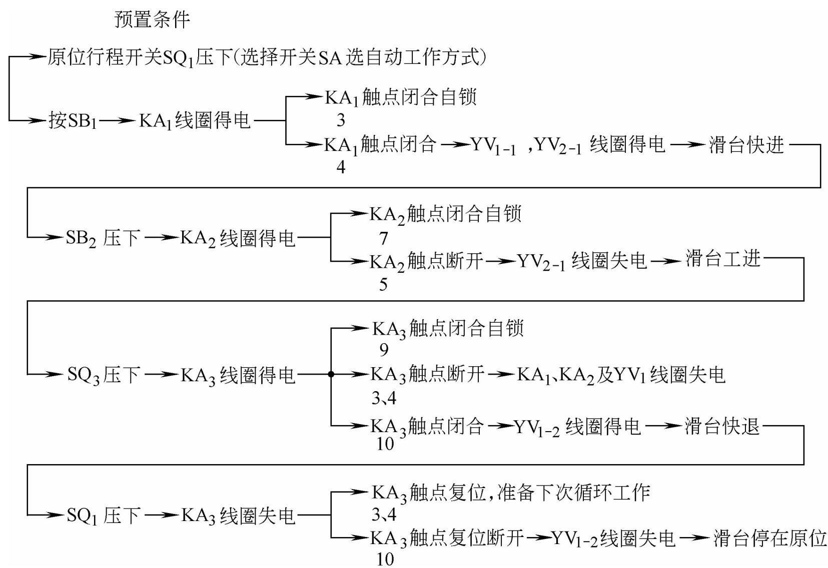


图 3-30　液压动力滑台电器动作顺序图

在上述控制电路的基础上，加上一延时元件，可得到具有进给终点延时停留的自动循环控制电路，其工作循环图及控制电路图如图 3-31 所示。当滑台工进到终点时，压动终点限位开关 SQ3。接通时间继电器 KT 的线圈电路，KT 的动断触点使 $YV_{1\text{-}1}$ 线圈失电，阀 Y 圈 1 切换到中间位置，使滑台停在终点位，经一定时间的延时后，KT 的延时动合触点接通滑台快速退回的控制电路，滑台通过进入快迟的工步，退回原位后行程开关 SQ1 被压下，切断电磁阀线圈 $YV_{1\text{-}2}$ 的电路，滑台停在原位，其他工步的控制和调整控制方式，带有延时停留的控制电路与无终点延时停留的控制电路相同。

3.2.9　电气控制的保护环节

电气控制保护环节的任务是保证电动机长期正常运行，避免由于各种故障造成电气设备、电网和生产设备的损坏，以及保证人身的安全。电气保护环节是所有生产设备都不可缺少的组成部分。这里讨论的是电气控制低压电路的保护。一般来讲，常用的有以下几种：短路保护、过电流保护、热保护、欠电压保护及漏电保护等。图 3-32 为控制电路的欠电压、过电流、过载、短路保护。

1. 短路保护

当电动机绕组的绝缘、导线的绝缘损坏时，或电气电路发生故障时，例如正转接触器的主触点未断开而反转接触器的主触点闭合了都会产生短路现象。此时，电路中会产生很大的

短路电流，它将导致产生过大的热量，使电动机、电器和导线的绝缘损坏。因此、必须在发生短路现象时立即将电源切断。常用的短路保护元件是熔断器和断路器。

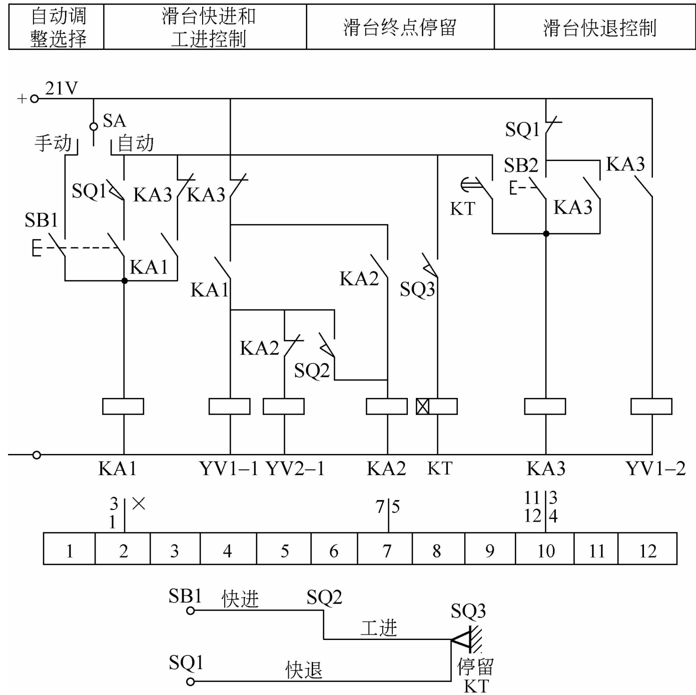


图 3-31　具有终点延时停留功能的滑台控制电路

熔断器的熔体串联在被保护的电路中，当电路发生短路或严重过载时，它自动熔断，从而切断电路，达到保护的目的。断路器（俗称自动开关），它有短路、过载和欠电压保护功能。通常熔断器比较适用于对动作准确度要求不高和自动化程度较差的系统中；当用于三相电动机保护时，在发生短路时有可能会使一相熔断器熔断，造成单相运行。但对于断路器只要发生短路就会自动跳闸，将三相电路同时切断。断路器结构复杂，广泛用于要求较高的场合。

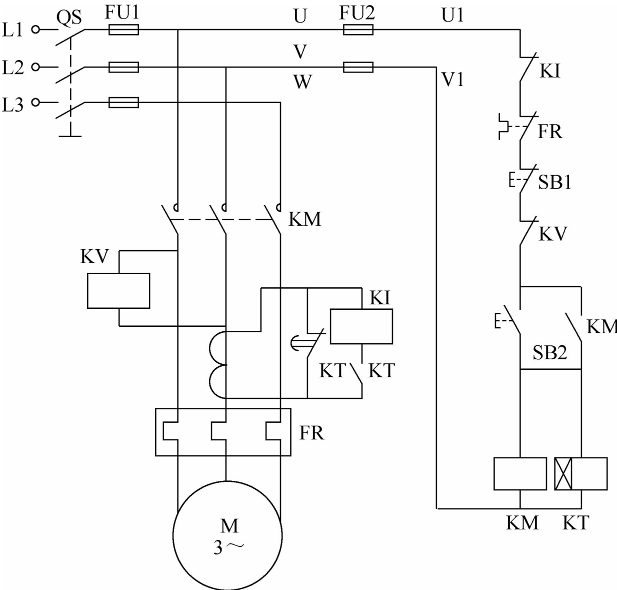


图 3-32　控制电路的欠电压、过电流、过载、短路保护

2. 过电流保护

由于不正确的起动和过大的负载转矩以及频繁的反接制动，都会引起过电流。为了限制电动机的起动或制动电流过大，常在直流电动机的电枢回路中或交流绕线转子电动机的转子回路中串入附加的电阻。

若在起动或制动时，此附加电阻已被短接，就会造成很大的起动或制动电流。另外，电动机的负载剧烈增加，也会引起电动机过大的电流，过电流的危害与短路电流的危害一样，只是程度上的不同，过电流保护常用断路器或电磁式过电流继电器。将过电流继电器串联在被保护的电路中，当发生过电流时，过电流继电器 KI 线圈中的电流达到其动作值，于是吸动衔铁，打开其常闭触点，使接触器 KM 释放，从而切断电源。这里过电流继电器只是一个检测电流大小的元件，切断过电流还是靠接触器。如果用断路器实现过电流保护，则检测电流大小的元件就是断路器的电流检测线圈，而断路器的主触点用以切断过电流。

对于交流异步电动机，因其起动电流较大，允许短时间过电流，故一般不用过电流保护。若要用过电流保护，如图 3-32 所示，可用时间继电器 KT 躲过起动时的过电流。

3. 过载（热）保护

热保护又称长期过载保护。所谓过载通常是指发生了“小马拉大车”现象，使电动机的工作电流大于了其额定电流。造成过载的原因很多，如负载过大、三相电动机单相运行、欠电压运行等。当长期过载时，电动机发热，使温度超过允许值，电动机的绝缘材料就要变脆，寿命降低、严重时使电动机损坏，因此必须予以保护。常用的过载保护元件是热继电器（FR）。热继电器可以满足这样的要求：当电动机为额定电流时，电动机为额定温升，热继电器不动作；在过载电流较小时，热继电器要经过较长时间才动作；过载电流较大时，热继电器则经过较短时间就会动作；即具有反时限的特点。由于热惯性的原因，热继电器不会因电动机短时过载冲击电流或短路电流而立即动作。所以在使用热继电器作过载保护的同时，还必须设有短路保护，并且选作短路保护的熔断器熔体的额定电流不应超过 4 倍热继电器发热元件的额定电流。

4. 零电压与欠电压保护

当电动机正在运行时，如果电源电压因某种原因消失，为了防止电源恢复时电动机自行起动的保护称为零电压保护，零电压保护常选用零压保护继电器 KHV。对于按钮起动并具有自锁环节的电路，本身已具有零电压保护功能，不必再考虑零电压保护。

当电动机正常运行时，电源电压过分地降低将引起一些电器释放，造成控制电路不正常工作，可能产生事故。因此，需要在电源电压降到一定允许值以下时，将电源切断，这就是欠电压保护。欠电压保护常用电磁式欠电压继电器 KV 来实现。欠电压继电器的线圈跨接在电源两相之间，电动机正常运行时，当电路中出现欠电压故障或零压时，欠电压继电器的线圈 KA 得电，其常闭触点打开，接触器 KM 释放，电动机被切断电源。

5. 漏电保护

漏电保护采用漏电保护器，主要用来保护人身生命安全。其应用如图 1-65 所示漏电保护装置图。

本 章 小 结

本章一般性地介绍了电气制图和识图的基础知识；重点介绍了电气控制电路常用的一些基本环节和典型电路，包括全电压直接起动控制，减压起动控制，点动、长动（自锁）、正反转控制、多地点控制，顺序控制、停车制动和等电液控制等；常用的控制原则有行程、时间、速度、电流及频率等；常用的保护有短路、过载、过电流、过欠电压、零压及漏电等保护。应该注意的是，上述这些基本环节和典型电路，在电气控制的实际应用中并不是相互矛盾、彼此独立的，倒是常常结合在一起，组成较复合的电气控制电路。

基本环节和典型电路是组成电气电路的基础。任何复杂的电气控制电路都是由这些基本电路环节和典型电路组成的，必须认真学习掌握。

习题与思考题

3-1　电气控制系统图通常包括哪些图？

3-2　电气控制原理图绘图的基本原则有哪些？

3-3　试述“自锁”、“连锁”、“互锁”的含义，并举例说明各自的作用。

3-4　交流电动机软起动装置具有哪些功能特点？JTRQ 是如何实现软起动控制的？

3-5　电气控制常用的基本控制环节有哪些？如何选用？

3-6　电气控制控制电路常用的控制原则有哪些？各有什么典型应用？

3-7　短路保护、过电流保护及热继电器保护有何区别？各自常用的保护元件是什么？

3-8　为什么电动机应具有零电压和欠电压保护？

3-9　试以行程原则和时间原则来设计某机床工作台往复移动。要求在原位和终点间往复移动，当往复时间超时，立即返回并灯光报警。

3-10　异步电动机允许全电压起动的经验公式是什么？

3-11　为什么热继电器不能作短路保护而只能作长期过载保护？熔断器则相反，为什么？

3-12　机床电气控制常设有哪些保护电路？其保护的原理是什么？

3-13　试分析机床电气控制常用的Y-△起动、能耗制动、反接制动、交流电动机的高低速控制、自动循环控制、电液控制的电路图。

3-14　在有自动控制的生产设备上，电动机由于过载而自动停车后，有人立即按起动按钮，但不能开车，试说明可能是什么原因？

3-15　在电动机的主电路中既然装了熔断器，为什么还要装热继电器？它们各起什么作用？

3-16　试说明图 3-33 三速交流电动机电气控制是由哪些基本电路环节组成的？

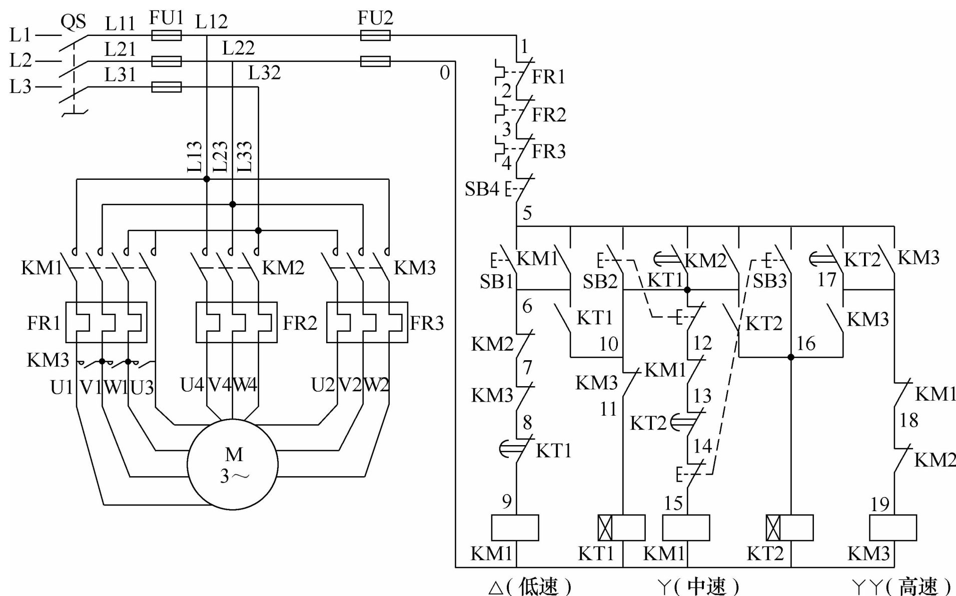


图 3-33　三速交流电动机电气控制原理图

第 4 章　现代电气控制中的 PLC 应用技术

主要内容：

（1）PLC 的快速入门、硬软件组成和基本工作原理。

（2）西门子 S7-200 系列小型 PLC 应用指南。

学习重点及教学要求：

（1）了解 PLC 的基本概况、特点、应用和新发展。

（2）掌握 PLC 硬软件组成和基本工作原理。

（3）掌握西门子 S7-200 系列 PLC 的硬件资源。

（4）掌握西门子 S7-200 系列 PLC 的软件资源。

（5）掌握西门子 S7-200 系列 PLC 的开发应用方法。

（6）了解 PLC 在电气控制中的基本应用。

传统的“继电器-接触器”控制，是二十世纪二、三十年代就开始使用的控制方式，它以硬件接线的方式实现逻辑控制、顺序控制、定时、计数和算术运算等各种操作功能，属于有触点的控制，安全可靠性差、占地面积大、运行时噪声大、安装维护工作量大；特别是其产生的电磁信号对微机会产生干扰严重，甚至会使微机控制无法正常工作。因此，伴随着科技的进步，一方面元件本身不断地在被新材料、新工艺、新技术改造着；另一方面它也在不断地被新出现的现代控制器件所替换。

可编程序控制器（Programmable Logic Controller，PLC）是近几十年才发展起来的一种新型工业用控制装置。它可以取代传统的“继电器-接触器”控制系统实现逻辑控制、顺序控制、定时、计数等各种功能，大型高档的 PLC 还能像微型计算机（PC）那样进行数字运算、数据处理、模拟量调节以及联网通信等。它具有通用性强、可靠性高、指令系统简单、编程简便易学、易于掌握、体积小、维修工作量少、现场连接方便等一系列显著优点，已广泛应用于机械制造、机床、冶金、采矿、建材、石油、化工、汽车、电力、造纸、纺织、装卸、环境保护等各行各业。在自动化领域，PLC 与数控机床、工业机器人、CAD/CAM 并称为现代工业技术的四大支柱，尤其在现代电气控制中的应用越来越广泛，已成为改造和研发电控装置最理想的首选、优选好控制器；其应用的深度和广度也代表了一个国家工业现代化的先进程度。本章将重点介绍有关这种新型工业控制器的结构组成、功能特点、工作原理及编程语言、编程方法与在电气控制中的应用等内容。

4.1 PLC 的快速入门

4.1.1 PLC 的诞生与迅猛发展

1. PLC 的诞生

可编程序控制器是随着科学技术的进步与现代社会生产方式的转变，为适应多品种、小批量生产的需要而诞生、发展起来的一种新型的工业控制装置。

PLC 自 1969 年问世以来，由于其具有通用灵活的控制性能、可以适应各种工业环境的可靠性与简单方便的使用性能，在工业自动化各领域取得了广泛的应用。

（1）“继电器-接触器控制系统”存在的问题

众所周知，制造业中使用的生产设备与生产过程的控制，一般都需要通过工作机构、传动机构、原动机以及控制系统等部分实现。特别是当原动机为电动机时，还需要对电动机的启/制动、正反转、调速与定位等动作进行控制。生产设备与生产过程的电器操作与控制部分，称为电气自动控制装置或电气自动控制系统。

最初的电气自动按制装置（包括目前使用的一些简单机械），只是一些简单的手动电器（如刀开关、正反转开关等）。这些电器只适合于电动机容量小、控制要求简单、动作单一的场合。

随着科学的迅猛发展和技术的不断进步，生产机械对电气自动控制也提出了越来越高的要求，电气自动控制装置也逐步发展成了各种形式的现代电气自动控制系统。

作为常用电气自动控制系统的一种，人们习惯于把以继电器、接触器、按钮、开关等为主要元件所组成的逻辑控制系统。称为“继电器-接触器控制系统”。

“继电器-接触器控制系统”的基本特点是结构简单、生产成本低、抗干扰能力强、故障检修直观方便、适用范围广。它不仅可以实现生产设备、生产过程的自动控制，而且还可以满足大容量、远距离、集中控制的要求。因此，直到今天“继电器-接触器控制系统”仍是工业自动控制领域最基本的控制系统之一。

但是，由于“继电器-接触器控制系统”的控制元件（继电器、接触器）均为独立元件，它决定了系统的“逻辑控制”与“顺序控制”功能只能通过控制元件间的不同连接实现。因此，它不可避免地存在以下不足：

1）可靠性差，使用寿命较短，排除故障困难。由于继电器-接触器控制系统采用的是“有触点控制”形式，额定工作频率低，工作电流大，长时间连续使用易损坏触点或产生接触不良等故障，直接影响到系统工作的可靠性。如果其一个继电器损坏，其至某一对触点接触不良，都会影响整个系统的正常运行。查找和排除故障往往是非常困难的，有时可能会花费大量的时间。

2）通用性、灵活性差，总体成本较高。继电器本身并不贵，但是控制柜内部的安装、接线工作量极大，为此整个控制柜的价格是相当高的。当生产流程或工艺发生变化、需要更改控制要求时，控制柜内的元件和接线也需要作相应地变动。通常必须通过更改接线或增减控制器件才能实现，但是，这种改造的工期长、费用高，以至于有的用户宁愿放弃旧的控制柜的改造，另外再制作一台新的控制柜；有时甚至需要进行重新设计，因此难以满足多品

种、小批量生产的要求。

3）体积大，材料消耗多。“继电器-接触器控制系统”的逻辑控制需要通过控制电器与电器间的连接实现，安装电器需要大量的空间，连接电器需要大量的导线，控制系统的体积大，材料消耗多。

4）运行费用高，噪声大。由于继电器、接触器均为电磁元件，在系统工作时，需要消耗较多的电能，同时，多个继电器、接触器的同时通/断，会产生较大的噪声，对工作环境造成不利的影响。

5）功能局限性大。由于“继电器-接触器”控制系统在精确定时、计数等方面的功能不完善，影响了系统的整体性能，它只能用于定时要求不高、计数简单的场合。

6）不具备现代工业控制所需要的数据通信、网络控制等功能。

正因为如此，“继电器-接触器控制系统”已难以适应现代工业复杂多变的生产控制要求与生产过程控制集成化、网络化的需要。

（2）PLC 的诞生

为了解决“继电器-接触器控制系统”存在的通用性、灵活性差，功能局限性大与通信、网络方面欠缺的问题，20 世纪 50 年代末，人们曾设想利用计算机功能完备、通用性和灵活性强的特点来解决以上问题。但由于当时的计算机原理复杂，生产成本高，程序编制难度大，加上工业控制需要大量的外围接口设备，可靠性问题突出，使得它在面广量大的一般工业控制领域难以普及与应用。

到了 20 世纪 60 年代末，有人这样设想：能否把计算机通用、灵活、功能完善的特点与“继电器-接触器控制系统”的简单易懂、使用方便、生产成本低的特点结合起来，生产出一种面向生产过程顺序控制，可利用简单语言编程，能让完全不熟悉计算机的人也能方便使用的控制器呢?

这一设想最早由美国最大的汽车制造商——通用汽车公司（GM）于 1968 年提出。当时，该公司为了适应汽车市场多品种、小批量的生产需求，需要解决汽车生产线“继电器-接触器控制系统”中普遍存在的通用性、灵活性差的问题，提出了对一种新颖控制器的十大技术要求，并面向社会进行招标。十大技术要求具体如下：

1）编程方便，且可以在现场方便地编辑、修改控制程序。

2）价格便宜，性能价格比要高于继电器系统。

3）体积要明显小于继电器控制系统。

4）可靠性要明显高于继电器控制系统。

5）具有数据通信功能。

6）输入可以是 AC 115V。

7）输出驱动能力在 AC 115V/2A 以上。

8）硬件维护方便，最好采用“插接式”结构。

9）扩展时，只需要对原系统进行很小的改动。

10）用户存储器容量至少可以扩展到 4KB。

以上就是著名的“GM 十条”。这些要求的实质内容是提出了将“继电器-接触器控制系统”的简单易懂、使用方便、价格低廉的优点与计算机的功能完善、灵活性、通用性好的优点结合起来，将继“继电器-接触器控制系统”的硬连线逻组转变为计算机的软件逻辑编

程的设想。

根据以上要求，美国数字设备公司（DEC）在 1969 年首先研制出了全世界第一台可编程序控制器，并称之为“可编程序逻辑控制器”（Programmable Logic Controller，PLC）。该样机在 GM 公司的应用获得了成功。此后，PLC 得到了快速发展，并被广泛用于各种开关量逻辑运算与处理的场合。

早期 PLC 的硬件主要由分立元件与小规模集成电路构成，它虽然采用了计算机技术。但指令系统、软件与功能相对较简单。一般只能进行逻辑运算的处理，同时通过简化计算机的内部结构与改进可靠性等措施，使之能与工业环境相适应。

正因为如此，在 20 世纪 70 年代初期曾经出现过一些由二极管矩阵、集成电路等元件组成的所谓“顺序控制器”；20 世纪 70 年末期曾经出现过以 MC14500 工业控制单元（Industrial Control Unit，ICU）为核心，由 8 通道数据选择器（MC14512）、指令计数器（MC14516）、8 位可寻址双向锁存器（MC14599）、存储器（2732）等组成的“ICU 可编程序控制器”等产品。这些产品与 PLC 相比，虽然具有一定的价格优势，但最终还是由于其可靠性、功能等多方面的原因，未能得到进一步的推广与发展；而 PLC 则随着微处理器价格的全面下降，最终以其优良的性能价格比，得到了迅猛发展，并最终成为了当代工业自动控制技术的重要支柱技术之一。

2. PLC 的迅猛发展

PLC 技术随着计算机和微电子技术的发展而迅猛发展，由最初的 1 位机发展为 8 位机。随着微处理器和微型计算机技术在 PLC 中的应用，形成了现代意义上的 PLC。进入 20 世纪 80 年代以来，随着大规模和超大规模集成电路等微电子技术的迅猛发展，以 16 位和 32 位微处理器构成的微机化 PLC 得到了惊人的发展，使 PLC 在概念、设计、性能价格比以及应用等方面都有了新的突破。不仅控制功能增强，功耗、体积减小，成本下降，可靠性提高，编程和故障检测更为灵活方便，而且远程 I/O 和通信网络、数据处理以及人机界面（HMI）也有了长足的发展。现在 PLC 上不仅能简单方便地应用于制造业自动化，而且还可以应用于连续生产的过程控制系统，所有这些已经使其成为现代工业的四大支柱之首，即使在现场总线技术已成为自动化技术应用热点的今天，PLC 仍然是现场总线控制系统中不可缺少的首选控制器。

总结 PLC 的发展历程大致经历了 5 个阶段。

（1）初级阶段

从第一台 PLC 问世到 20 世纪 70 年代中期。这个时期的 PLC 功能简单，主要完成一般的继电器控制系统的功能。即顺序逻辑、定时和计数等，编程语言为梯形图。

（2）崛起阶段

从 20 世纪 70 年代中期到 80 年代初期。由于 PLC 在取代“继电器-接触器控制系统”方面的卓越表现，所以自从它在电气自动控制领域开始普及应用后，便得到了飞速的发展。这个阶段的 PLC 在其控制功能方面增强了很多。例如数据处理、模拟量的控制等。

（3）成熟阶段

从 20 世纪 80 年代初期到 90 年代初期。这之前的 PLC 主要是单机应用和小规模、小系统的应用。随着对工业自动化技术水平、控制性能和控制范围要求的提高，在大型的控制系统（如冶炼、饮料、造纸、烟草、纺织、污水处理等）中，PLC 也展示出了其强大的生命

力。对这些大规模、多控制器的应用场合，要求 PLC 控制系统必须具备通信和联网功能。这个时期的 PLC 顺应时代要求，在大型的 PLC 中一般都扩展了遵守一定协议的通信接口。

（4）飞速发展阶段

从 20 世纪 90 年代初期到 90 年代末期。由于对模拟量处理功能和网络通信功能的提高，PLC 控制系统在过程控制领域也开始大面积使用。随着芯片技术、计算机技术、通信技术和控制技术的发展，PLC 的功能得到了进一步的提高。现在 PLC 不论从体积上、人机界面功能、端子接线技术，还是从内在的性能（速度、存储容量等）、实现的功能（运动控制、通信网络、多机处理等）方面都远非过去的 PLC 可比。从 20 世纪 80 年代以后是 PLC 发展最快的时期，年增长率一直都保持在 30% ~40%。

（5）开放性、标准化阶段

从 20 世纪 90 年代中期以后。关于 PLC 开放性的工作在 20 世纪 80 年代就已经展开；但由于受到各大公司利益的阻挠和技术标准化难度的影响，这项工作进展得并不顺利。因此，PLC 诞生后的近 30 年时间里，各种 PLC 通信标准、编程语言等方面都存在着不兼容的地方，这为在工业自动化中实现互换性、互操作性和标准化都带来了极大的不便，现在随着 PLC 国际标准 IEC61131 的逐步完善和实施，特别是 IEC61131-3 标准编程语言的推广，使得 PLC 真正走入了一个开放性和标准化的新时代。

3. PLC 进一步的飞速发展趋势

PLC 总的发展趋势是向高集成度、小体积、大容量、高速度、易使用、高性能、信息化、软 PLC、标准化、与现场总线技术紧密结合等方向发展。

（1）向小型化、专用化、低成本方向发展

随着微电子技术的发展，新型器件性能的大幅度提高，价格却大幅度降低，使得 PLC 结构更为紧凑，操作使用十分简便。从体积上讲，有些专用的微型 PLC 仅有一块香皂大小。PLC 的功能不断增加，将原来大、中型 PLC 才有的功能部分地移植到小型 PLC 上，如模拟量处理、复杂的功能指令和网络通信等。PLC 的价格也不断下降，真正成为现代电气控制系统中不可替代的首选控制装置。据统计，小型和微型 PLC 的市场份额一直保持在 70% ~80%，所以对 PLC 小型化的追求永远不会停止。

（2）向大容量、高速度、信息化方向发展

现在大中型 PLC 采用多微处理器系统，有的采用了 32 位微处理器，并集成了通信联网功能，可同时进行多任务操作，运算速度、数据交换速度及外设响应速度都有大幅度提高，存储存量大大增加，特别是增强了过程控制和数据处理的功能。为了适应工厂控制系统和企业信息管理系统日益有机结合的要求，信息技术也渗透到了 PLC 中，如设置开放的网络环境、支持 OPC（OLE for Process Control）技术等。

（3）智能化模块的发展

为了实现某些特殊的控制功能，PLC 制造商开发出了许多智能化的 I/O 模块。这些模块本身带有 CPU，使得占用主 CPU 的时间很少，减少了对 PLC 扫描速度的影响，提高了整个 PLC 控制系统的性能。它们本身有很强的信息处理能力和控制功能，可以完成 PLC 的主 CPU 难以兼顾的功能。由于在硬件和软件方面都采取了可靠性和便利化的措施，所以简化了某些控制系统的系统设计和编程。典型的智能化模块主要有高速计数模块、定位控制模块、温度控制模块、闭环控制模块、以太网通信模块和各种现场总线协议通信模块等。

（4）人机界面（接口）的发展

HMI（Human-Machine Interface）在工业自动化系统中起着越来越重要的作用，PLC 控制系统在 HMI 方面的进展主要体现在以下几个方面：

1）编程工具的发展。过去绝大部分中小型 PLC 仅提供手持式编程器，编程人员通过编程器和 PLC 打交道。首先是把编制好的梯形图程序转换成语句表程序，然后使用编程器一个字符、一个字符地敲到 PLC 内部；另外，调试时也只能通过编程器观察很少的信息。现在编程器已被淘汰，基于 Windows 的编程软件不仅可以对 PLC 控制系统的硬件组态，即设置硬件的结构、类型、各通信接口的参数等，而且可以在屏幕上直接生成和编辑梯形图、语句表、功能块图和顺序功能图程序，并且可以实现不同编程语言之间的自动转换。程序被编译后可下载到 PLC，也可以将用户程序上传到计算机。编程软件的调试和监控功能也远远超过手持式编程器，可以通过编程软件中的监视功能实时观察 PLC 内部各存储单元的状态和数据，为诊断分析 PLC 程序和工作过程中出现的问题带来了极大的方便。

2）功能强大、价格低廉。过去在 PLC 控制系统中进行参数的设定和显示时非常麻烦，对输入设定参数要使用大量的拨码开关组，对输出显示参数要使用数码管，它们不仅占据了大量的 I/O 资源、而且功能少、接线烦琐。现在各种单色、彩色的显示设定单元、触摸屏、覆膜键盘等应有尽有，它们不仅能完成大量数据的设定和显示，还能直观形象地显示动态图形画面和完成数据处理等功能。

3）基于 PC 的组态软件。在中大型的 PLC 控制系统中，仅靠简单的显示设定单元已不能解决人机界面的问题，所以基于 Windows 的 PC 成为了最佳的选择。配合适当的通信接口或适配器，PC 就可以和 PLC 之间进行信息的互换，再配合功能强大的组态软件，就能完成复杂的和大容量的画面显示、数据处理、报警处埋、设备管理等任务。这些组态软件国外的品牌有 WinCC、iFIX、Intouch 等，国产知名公司有亚控、力控等。现在组态软件的价格已下降到非常低的位置，所以在环境较好的应用现场，使用 PC 加组态软件来取代触摸屏的方案也是一种不错的选择。

（5）在过程控制领域的使用以及 PLC 的冗余特性

虽然 PLC 的强项是在制造业领域使用，但随着通信技术、软件技术和模拟量控制技术的发展并不断地融合到 PLC 中，它现在也被广泛地应用到了过程控制领域。但在过程控制系统中使用，必然要求 PLC 控制系统具有更高的可靠性。现在世界上顶尖的自动化设备供应商提供的大型 PLC 中，一般都增加了安全性和冗余性的产品，并且符合 IEC61508 标准的要求。该标准主要为可编程电子系统内的功能性安全设计而制定，为 PLC 在过程控制领域使用的可靠性和安全设计提供了依据。现在 PLC 的冗余产品包括 CPU 系统、I/O 模块以及热备份冗余软件等。大型 PLC 以及冗余技术一般都是在大型的过程控制系统中使用。

（6）开放性和标准化

世界上大大小小的电气设备制造商几乎都推出了自己的 PLC 产品，但由于没有一个统一的规范和标准，所有 PLC 产品在使用上都存在着一些差异，而这些差异的存在对 PLC 产品制造商和用户都是不利的。一方面它增加了制造商的开发费用；另一方面它也增加了用户学习和培训的成本。这些非标准化的使用结果，使得程序的重复使用和可移植性都成为不可能的事情。

现在的 PLC 采用了各种工业标准，如 IEC61131、IEEE802.3 以太网、TCP/IP、UDP/IP

等，以及各种事实上的工业标准，如 Windows NT、OPC 等。特别是 PLC 的国际标准 IEC61131，为 PLC 从硬件设计、编程语言、通信联网等各方面都制定了详细的规范。其中的第 3 部分 IEC61131-3 是 PLC 的编程语言标准。IEC61131-3 的软件模型是现代 PLC 的软件基础，是整个标准的基础性的理论工具。它突破了 PLC 原有的体系结构（即在一个 PLC 系统中装插多个 CPU 模块），并为相应的软件设计奠定了基础。IEC61131-3 不仅在 PLC 系统中被广泛采用，在其他的工业计算机控制系统、工业编程软件中也得到了广泛的应用。越来越多的 PLC 制造商都在尽量往该标准上靠拢，尽管由于受到硬件和成本等因素的制约，不同的 PLC 和 IEC61131-3 兼容的程度有大有小，但这毕竟已成为了一种发展的强劲趋势。

（7）通信联网功能的增强和易用化

在中大型 PLC 控制系统中，需要多个 I/O 以及智能仪器仪表连接成一个网络，进行信息的交换。PLC 通信联网功能的增强使它更容易与 PC 和其他智能控制设备进行互联，使系统形成一个统一的整体，实现分散控制和集中管理。现在许多小型，甚至微型 PLC 的通信功能也十分强大。PLC 控制系统通信的介质一般有双绞线或光纤，具备常用的串行通信功能。在提供网络接口方面，PLC 向两个方向发展，一是提供直接连接到现场总线网络中的接口（如 PROFIBUS、AS-i 等）；二是提供 Ethernet 接口，使 PLC 直接接入以太网。

（8）软 PLC 的概念

所谓软 PLC 就是在 PC 的平台上，在 Windows 操作环境下，用软件来实现 PLC 的功能。这个新概念是在 20 世纪 90 年代中期提出的。安装有组态软件的 PC 既然能完成人机界面的功能，为何不能把 PLC 的功能也用软件来实现呢？PC 价格便宜，有很强的数学运算、数据处理、通信和人机交互的功能。如果软件功能完善，则利用这些软件可以方便地进行工业控制流程的实时和动态监控，完成报警、历史趋势和各种复杂的控制功能，同时节约控制系统的设计时间。配上远程 I/O 和智能 I/O 后，软 PLC 也能完成复杂的分布式的控制任务。在随后的几年，软 PLC 的开发也呈现了上升的势头。但后来软 PLC 并没有出现人们希望的那样占据相当市场份额的局面，这是因为软 PLC 本身存在的一些缺陷造成的：

1）软 PLC 对维护和服务人员的要求较高。

2）电源故障对系统影响较大。

3）在占绝大多数的低端应用场合，软 PLC 没有优势可言。

4）在可靠性方面和对工业环境的适应性方面，和 PLC 无法比拟。

5）PC 发展速度太快，技术支持不容易保证。

各有各的看法，随着生产厂家的努力和技术的发展。软 PLC 肯定也能在其最适合的地方得到认可。

（9）PAC 的概念

在工控界，对 PLC 的应用情况有一个“80-20”法则，即：

1）80% 的 PLC 上应用场合都是使用简单的低成本的小型 PLC。

2）78%（接近 80%）的 PLC 都是使用开关量（或数字量）。

3）80% 的 PLC 应用使用 20 个左右的梯形图指令就可解决问题。

其余 20% 的应用要求或控制功能要求使用 PLC 无法轻松满足，而需要使用别的控制手段或 PLC 配合其他手段来实现。于是，一种能结合 PLC 的高可靠性和 PC 的高级软件功能的新产品应运而生。这就是 PAC（Programmable Automation Controller），或基于 PC 架构的控制

器。它包括了 PLC 的主要功能，以及 PC-based 控制中基于对象的、开放的数据格式和网络能力。其主要特点是使用标准的 IEC61131-3 编程语言、具有多控制任务处理功能，兼具 PLC 和 PC 的优点。PAC 主要用来解决那些所谓的剩余20% 的问题，但现在一些高端 PLC 也具备了解决这些问题的能力，加之 PAC 是一种较新的控制器，所以其应用市场还有待进一步开发和推动。

（10）PLC 在现场总线控制系统中的位置

现场总线的出现，标志着自动化技术步入了一个新的时代。现场总线（Field bus）是“安装在制造和过程区域的现场装置与控制室内的自动控制装置之间的数字式、串行、多点通信的数据总线”，是当前工业自动化的热点之一。随着3C（Computer Control and Communication）技术的迅猛发展，使得解决自动化信息孤岛的问题成为可能。采用开放化、标准化的解决方案，把不同厂家遵守同一协议规范的自动化设备连接成控制网络并组成系统已成为可能。现场总线采用总线通信的拓扑结构，整个系统处在全开放、全数字、全分散的控制平台上。从某种意义上说，现场总线技术给自动控制领域所带来的变化是革命性的。到今天，现场总线技术已基本走向成熟和实用化。现场总线控制系统的优点是：

1）节约硬件数量与投资。

2）节省安装费用。

3）节省维护费用。

4）提高了系统的控制精度和可靠性。

5）提高了用户的自主选择权。

在现场总线控制系统（Field bus Control System，FCS）中，增加了相关通信协议接口的 PLC，既可以作为主站成为 FCS 的主控制器，也可以作为智能化的从站实现分散式的控制。一些软 FLC 配合通信板卡也可以作为 FCS 的主站。

总上所述，将来的新一代 PLC 将要实现：

1）CPU 处理速度进一步加快。

2）控制系统分散化。

3）可靠性进一步提高。

4）控制与管理功能一体化。

5）向两极化（大型化和小型化）方向发展。

6）编程语言和编程工具向标准化和多样化发展。

7）I/O 组件标准化、功能组件智能化。

8）通信网络化。

9）大记忆容量，快处理速度发展。

10）发展故障诊断技术和容错技术。

PLC 的新发展还可概括为以下几个方面：

1）在系统构成规模上，向超大型、超小型方向发展。

2）在增强控制能力和扩大应用范围上，进一步开发各种智能 I/O 模块。

3）在系统集成方面进一步提高安全性、高可靠性。

4）在控制与管理功能一体化方面，进一步增强通信联网能力。

5）在编程语言与编程工具方面，达到多样化、高级化、标准化。

4.1.2　PLC 的基本概念

1. PLC 的定义

PLC 技术一经出现，就立即引起了全世界的广泛关注，1969 年首先将其进行商品化并推向市场的是美国 GOULD 公司；1971 年，在引进美国技术后，日本研制出了自己的第一台 PLC；1973 年，西门子公司也研制出了欧洲第一台 PLC；1974 年，法国也研制出了 PLC。

到了 20 世纪 70 年代中期，PLC 开始采用微处理器。PLC 的功能也由最初的逻辑运算拓展到具有数据处理功能，并得到了更为广泛的应用。由于当时的 PLC 功能已经不再局限于逻辑处理的范畴，为此，PLC 也随之被称为可编程序控制器（Programmable Controller，PC）。

1980 年，美国电气制造商协会（National E1ectronic Manufacture Association，NEMA）对可编程序控制器进行了如下定义："可编程序控制器是一种带有指令存储器，数字或模拟输入/输出接口；以位运算为主；能完成逻辑、顺序、定时、计数和算术运算功能；面向机器或生产过程的自动控制装置"。并将其统一命名为 PC（Programmable Controller）。由于个人计算机（Personal Computer）也称 PC；为了避免混淆，人们仍习惯于将最初多用于逻辑控制而发展起来的可编程序控制器叫做 PLC（Programmable logic Controller）。

国际电工委员会在 1987 年颁布的 PLC 标准草案中也对 PLC 作了定义："PLC 是一种专门为在工业环境下应用而设计的数字运算操作的电子装置。它采用可以编制程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序运算、定时、计数和算术运算等操作的指令，并能通过数字式或模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。PLC 及其有关的外围设备都应按照易于与工业控制系统形成一个整体，易于扩展其功能的原则而设计。"。

定义中有以下几点应值得注意：

1）PLC 是"数字运算操作的电子装置"，其中带有"可以编制程序的存储器"，可以进行"逻辑运算、顺序运算、定时、计数和算术运算"工作，可以认为 PLC 具有计算机的基本特征。事实上，PLC 无论从内部构造、功能及工作原理上看都不折不扣的是一种计算机。

2）PLC 是"为工业环境下应用"而设计。工业环境和一般办公环境有较大的区别，PLC 具有特殊的构造，使它能在高粉尘、高噪声、强电磁干扰和温度变化剧烈的环境下正常工作；为了能控制"机械或生产过程"，它又要能"易于与工业控制系统形成一个整体"；这些都是个人计算机不可能做到的。因此 PLC 又不是普通的计算机，它是一种能满足工业现场恶劣环境下使用的工业控制计算机。

3）PLC 能控制"各种类型"的工业设备及生产过程。它"易于扩展其功能"，它的程序能根据控制对象的不同要求，让使用者"可以编制程序"。也就是说，PLC 较之以前的工业控制计算机，如单片机等工业控制系统，具有更大的灵活性，它可以方便地应用在各种场合，它又是一种通用的工业控制计算机。

通过以上定义还可以了解到，相对于一般意义上的计算机，PLC 并不仅仅具有计算机的内核，它还配置了许多使其适用于工业控制的器件。它实质上是经过了一次开发的工业控制用计算机。但是，从另一个方面来说，它是一种通用机，但不经过二次开发，它就不能在任何具体的工业设备上使用。不过，自其诞生以来，电气工程技术人员感受最深刻的也正是 PLC 二次开发编程十分容易。它在很大程度上使得工业自动化设计从专业设计院走进了厂矿

企业，变成了普通工程技术人员甚至普通电气工人都力所能及的工作。再加上其体积小、可靠性高、抗干扰能力强、控制功能完善、适应性强、安装接线简单等众多显著优点，PLC 在其问世后的短短四十余年中获得了突飞猛进的发展，在工业控制中得到了极其广泛的应用，已跃居现代工业四大支柱（PLC、数控机床、工业机器人、CAD/CAM）技术之首。

2. PLC 的标准

为了统一 PLC 的产品标准，国际电工委员会（International Electro-technical Commission，IEC）在 1979 年开始进行 PLC 的标准化工作。同年 10 月，IEC 开始设立专门工作组（Working Group，WG）；1983 年 7 月，在 WG 的第 7 次会议上，决定设立特别工作小组（Task Force，TF），并对标准化工作进行了深入的探讨，逐步形成了有关标准。

在 IEC 标准中，PLC 标准由以下 5 部分组成：

第一部分（Part1）：基本信息（General information）。

第二部分（Part2）：设备特性（Equipment Characteristics）。

第三部分（Part3）：编程语言（Programming Languages）。

第四部分（Part4）：用户准则（User guidelines）。

第五部分（Part5）：服务指南（Messaging Service Specification）。

1987 年 7 月，在 IEC 的 TC65A 会议上，标准的第一部分（Part1）、第二部分（Part2）被认定为 CO 文件（Central Office）；标准的第三部分（Part3）被认定为 CO 文件的前期准备 S 文件（Secretarial）。

标准（IEC61131）在听取各国意见后，于 1992 ~ 1995 年间陆续颁布。在我国，1995 年 11 月颁布了 GB/T15969-1/2/3/4 标准，它完全等同于 IEC61131-1/2/3/4 的对应部分。

标准的第一部分（IEC61131-1，即 Part1），明确了 PLC 的功能与特点，并给 PLC 使用的术语进行了定义。

标准的第二部分（IEC61131-2，即 Part2），包括了 PLC 的使用环境、电气机械特性、试验要求等，它主要是明确了 PLC 生产厂家的 PLC 产品应该达到的具体要求。

标准的第三部分（IEC61131-3，即 Part3），包括了 PLC 编程的基本要素、文本语言、图形语言等有关 PLC 编程语言的语法、符号标准。明确了 5 种 PLC 编程语言，即指令表（Instruction List）、结构化文本（Structured Text）、梯形图（Ladder Diagram）、功能块图（Function Block Diagram）、顺序功能图（Sequential Function Chart）的基本结构与特征。

需要注意的是，IEC61131-3 标准只是推荐了 PLC 用户程序编制的基本方法，但在具体实现形式与命名上并未作严格的规定，因此，即使对于同样的编程语言，在不同公司的 PLC 产品中仍然有所不同。例如：在西门子公司 PLC 产品中指令表编程的英文为“Statement list”（DIN 19239），简称 STL；梯形图编程简称 LAD；功能块图编程语言在 S5 系列 PLC（STEP5）中，流程图（Control System Flowchart，DIN 40700）”，简称 CSF；结构化文本编程英文为“Structured Control Languages”，简称 SCL；顺序功能图编程为“Graphic Programming Languages”，简称 S7-GRAPH 等。

标准的第四部分（IEC61131-4，即 Part4），作为用户指南，它包括了 PLC 的功能说明、选型基准，安装环境要求、维护、安全保护等针对 PLC 用户的基本使用指南。

标准的第五部分（IEC61131-5，即 Part5）主要是对 PLC 用语、符号、功能、名词的解释，并明确了 PLC 之间的通信协议等规范。

IEC 标准对可编程序控制器作了如下定义："可编程序控制器是一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境下的应用而设计。它采用可编程序的存储器，用来存储执行逻辑运算和顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，并通过数字或模拟的输入/输出接口，控制各种类型的机器设备或生产过程。"

标准强调可编程序控制器及其相关设备的设计原则是应"易于与工业控制系统连成一个整体且具有扩允功能"。

由此可见，在 IEC 的定义中，已经对可编程序控制器的使用环境（工业环境）与功能（具有通信与可扩展功能）作了更为明确的要求。简言之，IEC 标准所定义的可编程序控制器是一种具有通信功能与可扩展输入/输出接口，主要用于逻辑处理和顺序控制的工业计算机控制装置。

3. PLC 的特点

（1）可靠性高，抗干扰能力强

高可靠性是电气控制设备最重要的关键性能。PLC 由于采用了超大规模集成电路技术，严格的生产工艺制造，内部电路采用了先进的抗干扰技术，因此具有很高的可靠性。例如日本三菱公司生产的 F 系列 PLC 平均无故障时间已高达 30 万小时。一些使用冗余 CPU 的 PLC 的平均无故障工作时间则更长。从 PLC 的机外电路来说，使用 PLC 构成控制系统，和同等规模的"继电器-接触器控制系统"相比，电气接线及开关接点已减少到原来的数百甚至数千分之一，故障也将随之大大降低。此外，PLC 具有硬件故障的自我检测功能，出现故障时可迅速及时地发出报警信息。在应用软件中，用户还可以编入外围器件的故障自诊断程序，使系统中 PLC 以外的电路及设备也获得故障自诊断保护。这样就使整个 PLC 系统都具有了极高的可靠性。

（2）配套齐全，功能完善，适用性强

PLC 发展到今天，已经形成了大、中、小、微等各种规模的系列化产品，可以用于各种规模的工业控制场合。除了逻辑控制功能外，现代 PLC 大都具有完善的数据运算能力，可用于各种数字控制领域。近年来 PLC 的功能模块大量涌现，使 PLC 已渗透到了位置控制、运动控制、过程控制、湿度控制、计算机数控（CNC）等各种工业控制中。加上 PLC 通信能力的增强及人机界面技术的发展，使用 PLC 组成各种控制系统变得非常容易。

（3）易学好懂易用，深受工程技术人员欢迎

PLC 作为现代通用工业控制计算机，是面向工矿企业的工控设备，其编程语言易于为工程技术人员接受。像梯形图语言的图形符号和表达方式与继电器电路图非常接近，只用少量开关逻辑控制指令就可以方便地实现"继电器-接触器控制电路"的功能；像步进式顺序控制的状态转移图（SFC），简单、直观、容易设计复杂的多流程顺序控制，并且能够减少程序条数，使程序易于理解。

（4）系统设计周期短，维护方便，改造容易

PLC 用存储逻辑代替接线逻辑，大大地减少了控制设备外部的接线，使控制系统设计周期大大缩短，同时维护也变得容易起来。更重要的是使同一设备经过改变程序便可改变生产过程成为可能。因此很适合多品种、小批量的生产场合。

（5）体积小，重量轻，能耗低

以超小型 PLC 为例，其新近产品的品种底部尺寸小于 $100mm^2$，重量小于 150g，能耗仅

数瓦。由于体积小很容易嵌入机械内部，是实现机电一体化首选的理想控制器件。

4. PLC 的功能

如前所述，PLC 是一种根据生产过程顺序控制的要求，为了取代传统的“继电器-接触器控制系统”而发展起来的工业自动控制设备，它必须首先具备满足顺序控制要求的基本逻辑运算功能。随后，由于技术的不断进步与 PLC 应用范围的日益扩大，在顺序控制的基础上，又不断开发了可以满足各种工业控制要求的特殊控制功能。近年来，为了适应通信、网络技术的发展，PLC 作为基本的工业控制设备，网络与通信功能已经成为 PLC 的重要技术指标之一。总之，虽然各 PLC 的性能、价格有较大的区别，但其主要功能相近，它包括图 4-1 所示的几部分。

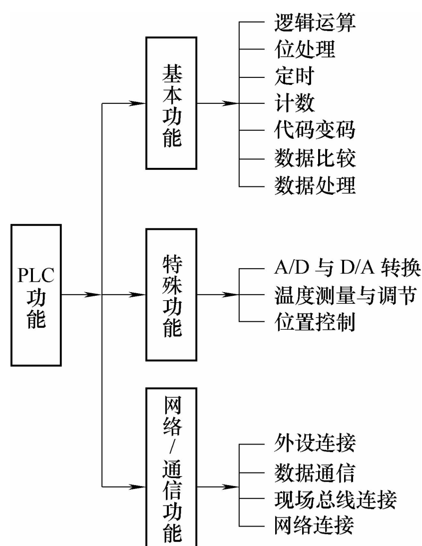


图 4-1　PLC 的功能组成图

（1）基本功能

逻辑控制功能是 PLC 必备的基本功能。本质上说，这是一种以计算机“位”运算为基础，按照程序的要求，通过对来自设备外围的按钮、行程开关、接触器与传感器触点等开关量（也称数字量）信号的进行逻辑运算处理，并控制外围指示灯、电磁阀、接触器线圈的通断的功能。

在早期的 PLC 上，顺序控制所需要的定时、计数功能需要通过定时模块与计数模块实现，但是，目前它已经成为 PLC 的基本功能之一。此外，逻辑控制中常用的代码转换、数据比较与处理等，也成为了 PLC 常用的基本功能。

（2）特殊控制功能

PLC 的特殊控制功能包括模/数（A/D）转换、数/模（D/A）转换、温度的调节与控制、位置控制等。这些特殊控制功能的实现，一般需要选用 PLC 的特殊功能模块。

A/D 转换与 D/A 转换多用于过程控制或闭环调节系统。在 PLC 中，通过特殊的功能模块与功能指令，可以对过程控制中的温度、压力、流量、速度、位移、电压、电流等连续变化的物理量进行采样，并通过必要的运算（如 PID），实现闭环自动调节。当然，需要时也可以对这些物理量的进行各种形式的显示。

在 PLC 中，位置控制一般是通过 PLC 的特殊应用指令，通过对命令的写入与状态的读取，对位置控制模块的位移量、速度、方向等进行控制。位置控制模块一般以脉冲的形式输出位置给定指令，指令脉冲再通过伺服驱动器（或步进驱动器），驱动伺服电动机（或步进电动机）带动进给传动系统实现闭环位置控制。

（3）网络与通信功能

随着信息技术的发展，网络与通信在工业控制中已经显得越来越重要。PLC 早期的通信，一般仅仅局限于 PLC 与外设（编程器或编程计算机等）间的简单串行口通信。

然而，现代 PLC 的通信不仅可以进行 PLC 与外设间的通信，而且可以在 PLC 与 PLC 间、PLC 与其他工业控制设备之间、PLC 与上位机之间、PLC 与工业网络间进行通信，并可以通过现场总线、网络总线组成系统，从而使得 PLC 可以方便地进入工厂自动化系统。

5. PLC 与其他工业控制系统的比较

自从微型计算机问世以来，工业控制一直是其重要的应用领域。在工业控制上，除 PLC 外，“继电器-接触器控制系统”、工业控制计算机（工业 PC）与集散控制系统（DCS）也是其中的代表性产品。为了便于读者进一步了解，现将 PLC 与它们的比较简述如下。

（1）PLC 与“继电器-接触器控制系统”的比较

在 PLC 出现以前的一个世纪中，“继电器-接触器”硬件电路是逻辑控制、顺序控制的唯一执行者，它结构简单，价格低廉，一直被广泛应用。但它与 PLC 控制系统相比却有许多缺点，见表 4-1。

表 4-1　PLC 与继电路逻辑控制系统的比较

比 较 名 称	PLC	继电器控制系统
控制功能的实现	通过编程实现所需的控制要求	通过对继电器进行硬接线完成相应的控制功能
对生产工艺变化的适应性	只需对程序修改,适应性强	需进行重新设计与接线,适应性差
可靠性	采用大规模集成电路,绝大部分是软继电器,采用抗干扰措施,可靠性高	元器件多、触点多,易出现故障
灵活性和柔韧性	有种类齐全的扩展单元,扩展灵活,灵活性好	差
控制的实时性	微处理器控制,实时性很好	机械动作时间常数大,实时性较差
占有空间与安装	体积小,重量轻,安装工作量小	体积大,笨重,安装工作量很大
复杂控制能力	很强	极差
使用寿命	长	短
价格	较高	低
维护	简单	复杂

通过表 4-1 中几个方面的比较可知，PLC 在性能上比“继电器-接触器控制系统”优异，特别是可靠性高，设计施工周期短，调试修改力使，而且体积小，功耗低，使用维护方便。但 PLC 在很小的系统中使用时，由于其众多功能未得到充分利用，其价格要高于“继电器-接触器控制系统”。

（2）PLC 与通用微机及工控微机的比较

采用微电子技术制作的 PLC，它也是由 CPU、RAM、ROM、I/O 接口等构成的，与微机有相似的构造，但又不同于一般的通用微机，特别是它采用了特殊的抗干扰技术，使它更能适用于恶劣环境下的工业现场控制。PLC 与通用微机各自的特点见表 4-2。

表 4-2　PLC 与通用微机的比较

比较项目	可编程序控制设备	微　　机
应用范围	工业控制	科学计算、数据处理、通信等
使用环境	工业现场	具有一定温度、湿度的机房
输入/输出	控制强电设备需光电隔离	与主机采用微电联系不需光电隔离
程序设计	一般为梯形图语言，易于学习和掌握	程序语言丰富，汇编、FORTRAN、BASIC 及 COBOL 等语句复杂，需专门计算机的硬件和软件知识
系统功能	自诊断、监控等	配有较强的操作系统
工作方式	循环扫描方式及中断方式	中断方式

20 世纪 60 年代，计算机技术开始应用于工业领域，但工控微机在很多方面远远不如 PLC 的功能强大，两者之间比较见表 4-3。

表 4-3　PLC 与工控微机（计算机控制系统）的比较

比较名称	PLC	计算机控制系统
编程语言	助记符语句表、梯形图等	汇编语言、高级语言
工作方式	扫描方式	中断方式
工作环境	可在较差的环境下工作	要求很高
对使用者的要求	语言易学	需进行专门的培训才可掌握
系统软件	功能专用，占用存储时间小	功能强大，占用存储时间很大
可靠性	工业级，有很多种特殊设计，包括监视计时器功能	商业级要求
价格	较低	高
应用领域	工业控制	办公、管理、科学计算等

而用于工业控制的工控计算机（工业 PC）是以通用微型计算机为基础的工业现场自动控制设备，它的特点是具有标准化的总线结构，因此各机型间的兼容性好，与计算机间的通信容易。而 PLC 的接口标准目前还没有完全统一，标准化程度较差，其兼容性与通信性能与工业 PC 相比还有一定的差距。

在硬件方面，工业 PC 与通用计算机的本质无太大的区别，它需要通过各种接口板与现场检测号、执行元件相连接；但不像 PLC 那样具有较多的、适应各种控制要求的功能模块可供选择。因此，其工业现场工作可靠性与通用性与 PLC 相比存在一定的差距。

在软件方面，工业 PC 可以像通用计算机那样使用形式多样、功能丰富的应用软件，可以适应算法复杂、实时性强的控制场合，但对编程人员的要求较高。PLC 的软件特点是通俗易懂，编程方便，便于掌握；且由于内部采用了循环扫描的工作方式，程序可靠性高。

（3）PLC 与集散控制系统（DCS）的比较

集散控制系统（DCS）又称为分散控制系统，产生于 20 世纪 70 年代。它与 PLC 同样都是以微型计算机为基础，专门为工业过程控制而设计的过程控制装置，但 DCS 发展的基础和方向与 PLC 有所不同。

首先，在控制功能方面，DCS 是在生产过程仪表控制的基础上发展起来的计算机控制装置，控制功能侧重于模拟量处理、回路调节、状态显示等方面；而 PLC 是在“继电器-接触器控制系统”的基础上发展起来的计算机控制装置，控制功能侧重于开关量处理、顺序控制、逻辑运算方面。

其次，在发展趋势上，为了扩大产品的应用领域，PLC 的重要发展方向是向功能化、网络化发展。通过具有各种特殊功能的模块（如温度测量与调节模块、模拟量输入/输出模块、PID 调节模块等）与网络连接手段，当代 PLC 已经可以很容易地通过各种现场总线（如 CC-Link、PROFIBUS 等）、工业以太网，构成完整的分布式 PLC 控制系统，应用范围不断向传统的 DCS 控制领域拓展。

PLC 与 DCS 的比较见表 4-4。

表 4-4　PLC 与 DCS 的比较

比较名称	PLC	集散控制系统
工作方式	扫描方式	按用户的程序指令工作包含中断方式
采样速度	每个采样点的采样速度相同	根据被检测对象的特性决定
存储器容量	大多采用逻辑运算，所需的存储器容量较小	大多采用大量的数学运算，所需的存储器容量较大
应用场合	开关量的逻辑控制	连续量的模拟控制
运算速度	开关量的速度较高	模拟量的速度较低
设计方法	根据现场环境并按照安装在控制室而设计	根据现场工作环境要求设计

4.1.3　PLC 的基本结构及工作原理

1. PLC 的基本结构

PLC 的基本组成结构如图 4-2 所示。可以看出，PLC 采用了典型的计算机结构，主要包括 CPU、RAM、ROM 和 I/O 接口电路等。其内部采用总线结构进行数据和指令的传输。如果把 PLC 看做一个系统，该系统由“输入变量→PLC→输出变量”组成。外部的各种开关信号、模拟信号以及传感器检测的各种信号均可作为 PLC 的输入变量；它们经 PLC 外部输入端子输入到内部寄存器中，经 PLC 内部逻辑运算或其他各种运算处理后送到输出端子，它们是 PLC 的输出变量；由这些输出变量对外围设备进行各种控制。因此也可以把 PLC 看做一个中间处理器或变换器，它将工业现场的各种输入变量转换为控制工业现场设备的各种输出变量。

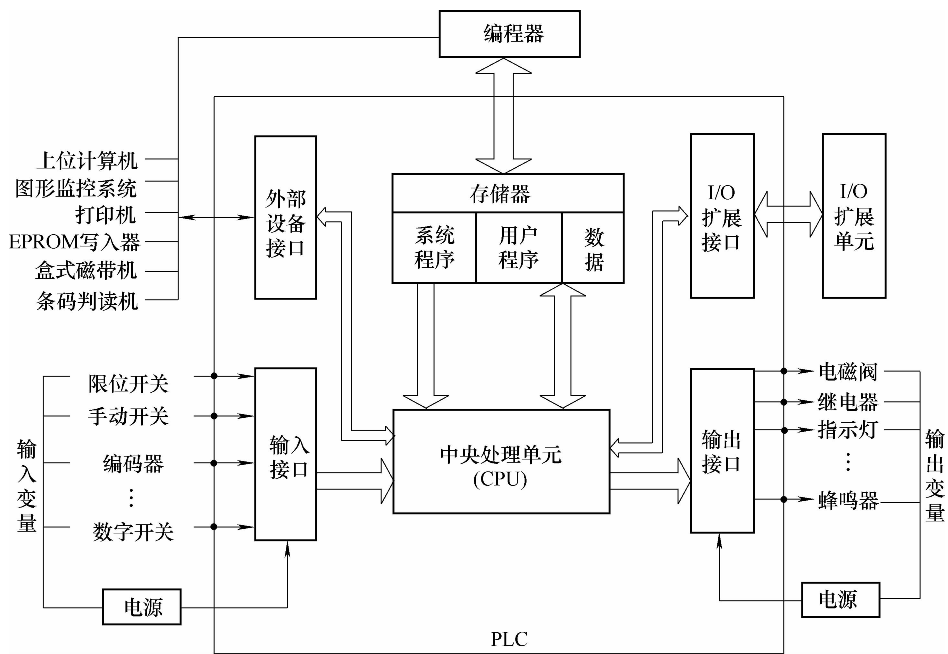


图 4-2　PLC 的典型组成结构示意图

（1） CPU

CPU 是计算机中央处理器的英文缩写。CPU 一般由控制电路、运算器和寄存器组成。它作为整个 PLC 的核心，起着总指挥和总调度的作用。它主要完成以下功能：

1） 将输入信号送入 PLC 中存储起来。

2） 按存放的先后顺序取出用户指令，进行编译。

3） 完成用户指令规定的各种操作。

4） 将结果送到输出端。

5） 响应各种外围设备（如编程器、打印机等）的请求。

目前 PLC 中所用的 CPU 多为单片机，在高档机中现已采用 16 位甚至 32 位的 CPU。

（2） 存储器

存储器是具有记忆功能的半导体电路，用来存放系统程序、用户程序、逻辑变量和其他一些信息。PLC 内部存储器有两类：一类是 RAM（即随机存取存储器），可以随时由 CPU 对它进行读出、写入；另一类是 ROM（即只读存储器），CPU 只能从中读取而不能写入。RAM 主要用来存放各种暂存的数据、中间结果及用户程序。ROM 主要用来存放监控程序及系统内部数据，这些程序及数据在出厂时已固化在 ROM 芯片中。

在 PLC 中，为了读写修改方便，其用户程序通常是放在 RAM 中。为防止用户程序在 PLC 断电时丢失，采用锂电池保持，一般可保持 5 ~ 10 年时间。

（3） 输入、输出接口电路

它起着 PLC 和外围设备之间传递信息的作用。PLC 通过输入接口电路将开关、按钮、传感器等输入信号转换成 CPU 能接收和处理的信号。输出接口电路是将 CPU 送出的弱电流控制信号转换成现场需要的强电流信号输出，以驱动被控设备。为了保证 PLC 可靠地工作，设计者在 PLC 的接口电路上采取了不少措施。输入、输出接口电路是用户使用 PLC 唯一要进行的硬件连接，从使用的角度考虑，每个用户都必须清楚地了解 PLC 的 I/O 性能，才能使用自如。

1） 开关量 I/O 模块

①直流输入模块如图 4-3 所示。

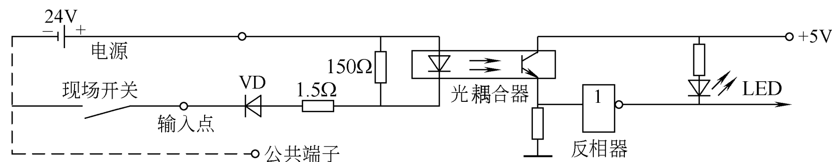


图 4-3　直流输入模块

②交流/直流输入模块如图 4-4 所示。

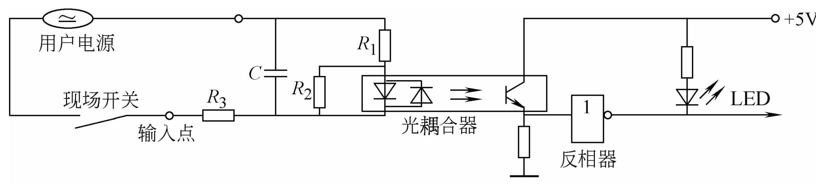


图 4-4　交流输入模块

③直流输出模块如图 4-5 所示。

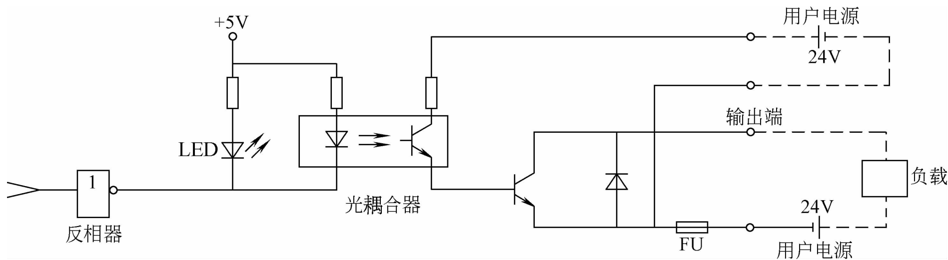


图 4-5　直流输出模块

④交流输出模块如图 4-6 所示。

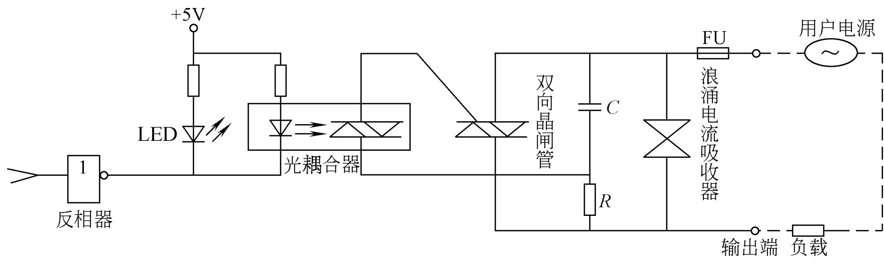


图 4-6　交流输出模块

⑤交/直流输出模块如图 4-7 所示。

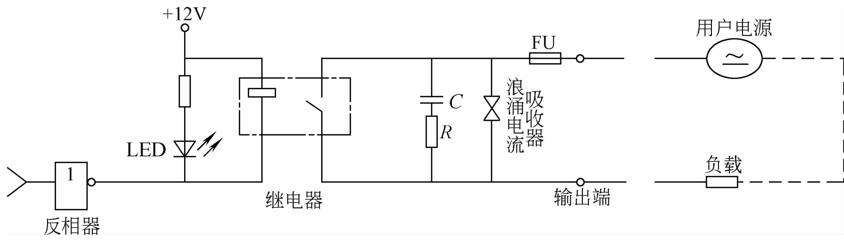


图 4-7　交/直流输出模块

2）开关量 I/O 模块的外部接线

①输入模块的外部接线

a. 汇点式输入接线如图 4-8 所示。

b. 独点（分隔）式输入接线如图 4-9 所示。

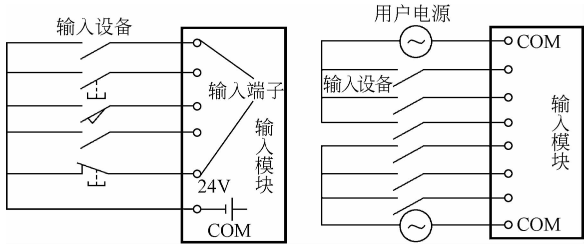


图 4-8　汇点式输入接线

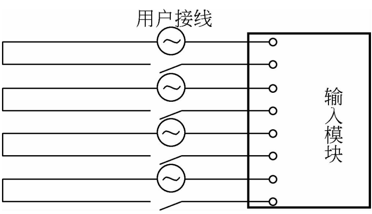


图 4-9　独点（分隔）式输入接线

②输出模块的外部接线

a. 汇点式输出接线如图 4-10 所示。

b. 独点（分隔）式输出接线如图 4-11 所示。

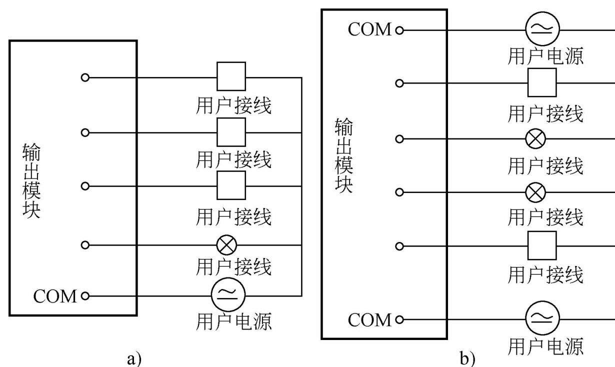


图 4-10　汇点式输出接线

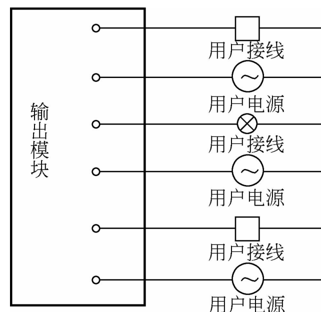


图 4-11　独点（分隔）式输出接线

③输入/输出模块的外接线如图 4-12 所示。

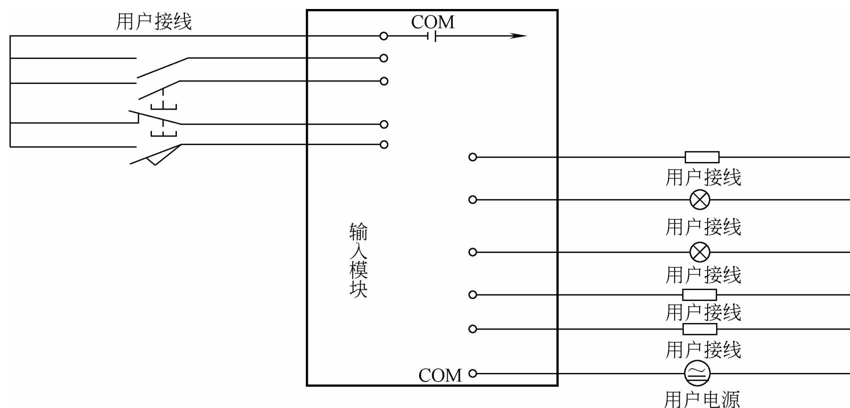


图 4-12　输入/输出接线

3）模拟量 I/O 模块（如图 4-13 和图 4-14 所示）

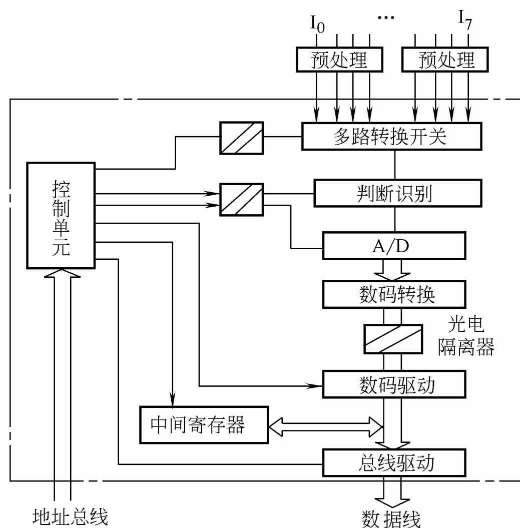


图 4-13　模拟量输入模块结构原理图

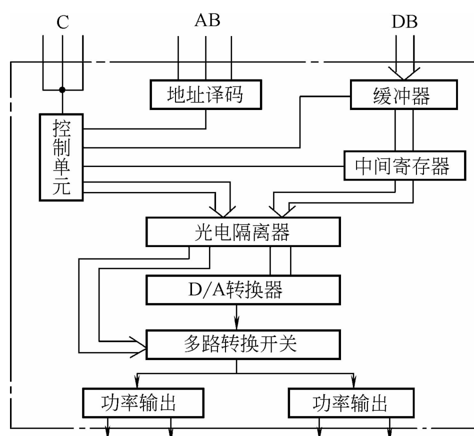


图 4-14　模拟量输出模块结构原理图

4）模拟量 I/O 模块的外部接线

①模拟量输入模块端的接线方式如图 4-15 所示。

②模拟量输出模块端的接线方式如图 4-16 所示。

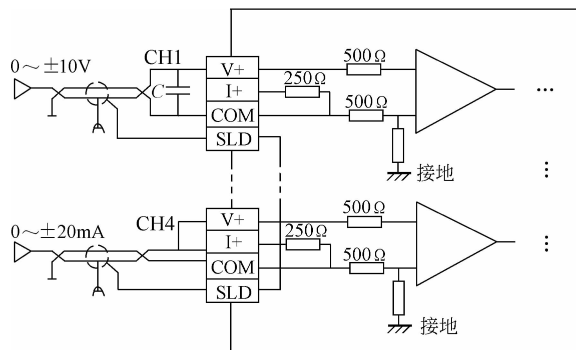


图 4-15　模拟量输入模块接线方式

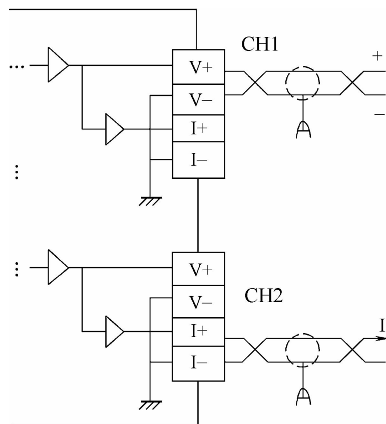


图 4-16　模拟量输出模块接线方式

总之，这些接口电路有以下特点：

①输入端采用光耦合电路，它可以大大减少电磁干扰。

②输出也采用光隔离电路，并分为三种类型：继电器输出型、晶闸管输出型和晶体管输出型，这使得 PLC 可以适合各种用户的不同要求。其中继电器输出型为有触点输出方式，可用于直流或低频交流负载回路；晶闸管输出型和晶体管输出型皆为无触点输出方式，前者可用于高频大功率交流负载回路，后者则用于小功率直流负载回路。而且有些输出电路被做成模块式，可以插拔，更换起来十分方便。

③模拟量 I/O 属于扩展模块，需要另外选购使用。

（4）电源

PLC 电源是指将外部交流电经整流、滤波、稳压转换成满足 PLC 中 CPU、存储器、I/O 接口等内部电路工作所需要的直流电源或电源模块。为避免电源干扰，接口电路的电源回路彼此相互独立。

（5）编程工具

编程工具是 PLC 最重要的外围设备，它实现了人与 PLC 的联系对话。用户利用编程工具不但可以输入、检查、修改和调试用户程序，还可以监视 PLC 的工作状态、修改内部系统寄存器的设置参数以及显示错误代码等。编程工具分为两种，一种是手持编程器，只需通过编程电缆与 PLC 相接即可使用；另一种是带有 PLC 专用工具软件的计算机，它通过 RS-232 通信口与 PLC 连接；若 PLC 用的是 RS-422 通信口，则需另加适配器。目前多使用后者。

（6）I/O 扩展接口

若主机单元（带有 CPU）的 I/O 点数不够用，可进行 I/O 扩展，即通过 I/O 扩展接口电缆与 I/O 扩展单元（不带有 CPU）相接，以扩充 I/O 点数。A/D、D/A 单元一般也通过接口与主机单元相接。

除了上面介绍的几个最常用的主要部分外，PLC 上还通常配有连接各种外围设备的接

口，并留有插座，可通过电缆方便地配接诸如串行通信模块、EPROM 写入器、打印机、录音机等外围设备。

2. PLC 的工作原理

（1）PLC 控制系统的等效电路

图 4-17 是一个典型的机床继电器控制电路，KT 是时间继电器；KM1、KM2 是两个接触器，分别控制电动机 M1、M2 的运转；SB1 为停止按钮，SB2 为起动按钮。控制过程如下：

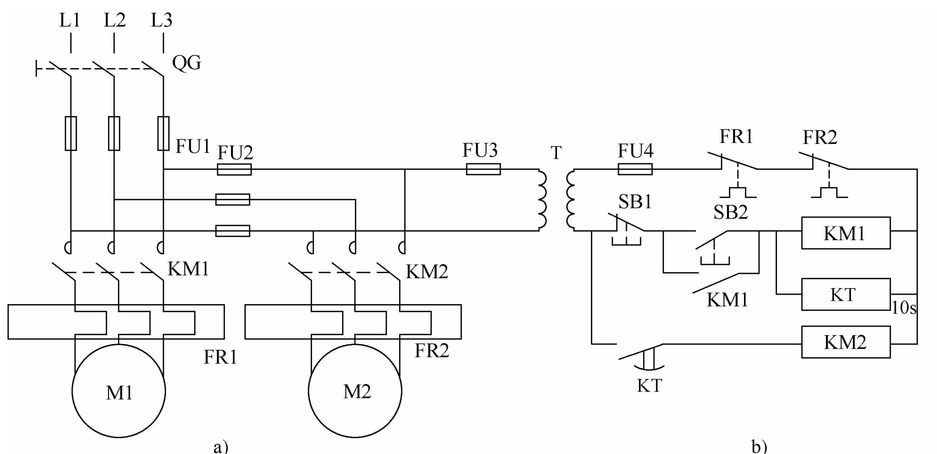


图 4-17　一个典型的继电器控制电路

在控制电路中，当按下 SB2 时，KM1、KT 的线圈同时通电，KM1 的一个常开触点闭合并自锁，M1 开始运转；KT 线圈通电后开始计时，10s 后 KT 的延时常开触点闭合，KM2 线圈通电，M2 开始运转。当按下 SB1 时，KM1、KT 线圈同时断电，KM2 线圈也断电，Ml、M2 随之停转。

现改用西门子公司生产的 S7-200 系列小型 PLC 来实现上述的控制功能，图 4-18 为改用 PLC 控制的等效电路图。

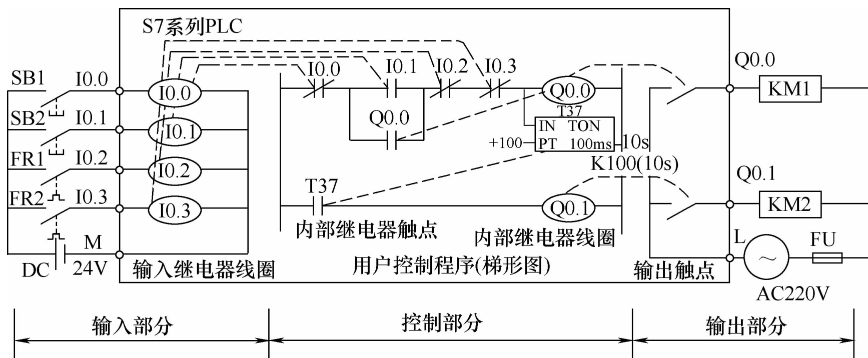


图 4-18　将图 4-17 改用 PLC 控制的等效电路图

在 PLC 的面板上有一排输入端子和一排输出端子，输入端子和输出端子各有自己的公共接线端子 COM，输入端子的编号为 I0.0、I0.1、…，输出端子的编号为 Q0.0、Q0.1、…。停止按钮 SB1、起动按钮 SB2、热继电器 FR1 与 FR2 的一端按到输入端子上，另—端接

到输入公共端子 COM 上；接触器 KM1、KM2 的线圈接到输出端子上，输出公共端子 COM 上接 AC220V 负载驱动电源。PLC 控制的等效电路由三部分组成：

1）输入部分。接收操作指令（由起动按钮、停止按钮、开关等提供），或接收被控对象的各种状态信息（由行程开关、接近开关、各种传感器信号等提供）。PLC 的每一个输入点对应一个内部输入继电器，当输入点与输入 COM 端接通时，输入继电器线圈通电，它的常开触点闭合、常闭触点断开；当输入点与输入 COM 端断开时，输入继电器线圈断电，它的常开触点断开、常闭触点接通。

2）控制部分。这部分是用户编制的控制程序，通常用梯形图的形式表示。用户控制程序放在 PLC 的用户程序存储器中。系统运行时，PLC 依次读取用户程序存储器中的程序语句，对它们的内容进行解释并加以执行，有需要输出的结果则送到 PLC 的输出端子，以控制外部负载的工作。

3）输出部分。根据程序执行的结果直接驱动负载。PLC 的每一个输出点对应一个内部输出继电器，每个输出继电器仅有一个硬触点与输出点相对应。当程序执行的结果使输出继电器线圈通电时，对应的硬输出触点闭合，控制外部负载动作。

PLC 控制过程为：当按下 SB2 时，输入继电器 I0.1 的线圈通电，I0.1 的常开触点闭合，使输出继电器 Q0.0 的线圈得电，Q0.0 对应的硬输出触点闭合，KM1 得电，M1 开始运转；同时 Q0.0 的一个常开触点闭合并自锁；定时器 T37 的线圈通电开始计时，延时 10s 后 KT 的常开触点闭合，输出继电器 Q0.1 的线圈得电，Q0.1 对应的硬输出触点闭合，KM2 得电，M2 开始运转。当按下 SB1 时，输入继电器 I0.0 的线圈通电，I0.0 的常闭触点断开，Q0.0、T37 的线圈均断电，Q0.1 的线圈也断电，Q0.0、Q0.1 对应的两个硬输出触点随之断开，KM1、KM2 断电，M1、M2 停转。

（2）PLC 的工作原理

PLC 采用循环扫描工作方式，其工作过程如图 4-19 所示。PLC 通电后，有两种基本的工作状态，即运行（RUN）状态与停止（STOP）状态。在运行状态，PLC 的工作过程分为内部处理、通信服务、输入处理、程序执行和输出处理 5 个阶段。在停止状态，PLC 只进行内部处理和通信服务。

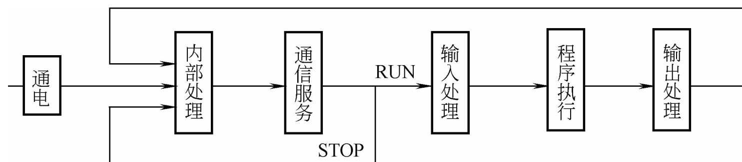


图 4-19　PLC 采用循环扫描工作

1）内部处理阶段。在内部处理阶段，PLC 复位监控定时器，运行自诊断程序（进行硬件检查、用户内存检查等）。检查正常后，方可进行下面的操作。如果有异常情况，则根据错误的严重程度报警或停止 PLC 运行。

2）通信服务阶段。通信服务阶段又叫通信处理阶段、通信操作阶段或外设通信阶段。在此阶段，PLC 与带微处理器的外部智能装置进行通信，响应编程工具键入的命令，更新编程工具的显示内容。

当 PLC 处于停止状态时，只执行以上两个阶段的操作；当 PLC 处于运行状态时，还要

完成以下 3 个阶段的操作。

3）输入处理阶段。输入处理阶段又叫输入采样阶段、输入刷新阶段或输入更新阶段。在此阶段，PLC 中的 CPU 把所有外部输入电路的接通/断开（ON/OFF）状态通过输入接口电路读入输入映像寄存器（此时输入映像寄存器的状态被刷新），接着进入程序执行阶段。在输入处理阶段，如果外接的输入触点电路接通，对应的输入映像寄存器为“1”状态，梯形图中对应的输入继电器的常开触点接通，常闭触点断开；如果外接的输入触点电路断开，对应的输入映像寄存器为“0”状态，梯形图中对应的输入继电器的常开触点断开，常闭触点接通。在输入处理阶段完成后，输入映像寄存器与外界隔离，即使外部输入信号的状态发生了变化，输入映像寄存器的状态也不会随之而变。输入信号变化了的状态只有等到下一个扫描周期的输入处理阶段到来时才能通过 CPU 送入输入映像寄存器中，这种输入工作方式称为集中输入工作方式。

4）程序执行阶段。PLC 的用户程序由若干条指令组成，指令在存储器中按步序号顺序排列。在没有跳转指令时，则从第一条指令开始，逐条顺序地执行用户程序，直到用户程序结束之处；然后，进入输出处理阶段。在程序执行阶段，CPU 按从左到右、先上后下的顺序对每条指令进行解释、执行，从输入映像寄存器、输出映像寄存器和元件映像寄存器中将有关编程元件的“0”／“1”（“OFF”／“ON”）状态读出来，并根据用户程序给出的逻辑关系进行相应的逻辑运算，运算的结果再写入到对应的输出映像寄存器和元件映像寄存器中。因此，各编程元件的映像寄存器（输入映像寄存器除外）的内容随着程序的执行而变化。

5）输出处理阶段。输出处理阶段又叫输出刷新阶段或输出更新阶段。在此阶段，则将输出映像寄存器的“0”／“1”状态传送到输出锁存器，然后经输出接口电路和输出端子再传送到外部负载。在梯形图中，如果某一输出继电器的线圈“通电”，对应的输出映像寄存器为“1”状态，相应的输出锁存器也为“1”状态。信号经输出接口电路的隔离和功率放大后（继电器型输出接口电路中对应的硬件继电器的线圈通电，其常开触点闭合），驱动外部负载通电工作；反之，外部负载断电，停止工作。在输出处理阶段完成后，输出锁存器的状态不变，即使输出映像寄存器的状态发生了变化，输出锁存器的状态也不会随之改变。输出映像寄存器变化了的状态只有等到下一个扫描周期的输出处理阶段到来时才能通过 CPU 送入输出锁存器中，这种输出工作方式称为集中输出工作方式。

根据 PLC 的上述循环扫描工作过程，可以得出从输入端子到输出端子的信号传递过程，如图 4-20 所示。

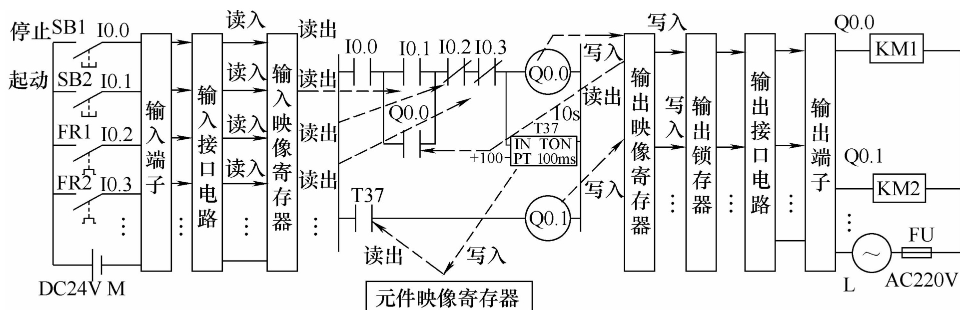


图 4-20　PLC 从输入到输出的信号传递过程示意图

在输入处理阶段，CPU 将 SB1、SB2、FR1、FR2 触点的状态读入相应的输入映像寄存器，外部触点接通时存入输入映像寄存器的是二进制数“1”，反之存入“0”。

在程序执行阶段，当执行第一条指令时，从输入映像寄存器 I0.0、I0.1、I0.2、I0.3 和输出映像寄存器 Q0.0 中读出二进制数进行逻辑运算（触点串联对应“与”运算，触点并联对应“或”运算），其运算结果写入输出映像寄存器 Q0.1 和元件映像寄存器 T37 中。当执行第二条指令时，从元件映像寄存器 T37 中读出二进制数，然后写入输出映像寄存器 Q0.1 中。

在输出处理阶段，CPU 将各输出映像寄存器中的二进制数写入输出锁存器并锁存起来，再经输出电路传递到输出端子，从而控制外部负载动作。如果输出映像寄存器 Q0.0 和 Q0.1 中存放的是二进制数“1”，外接的 KM1 和 KM2 线圈将通电，反之将断电。

PLC 的循环扫描工作方式为 PLC 提供了一条死循环自诊断功能。PLC 内部设置了一个监控定时器 WDT，其定时时间可由用户设置为大于用户程序的扫描周期，PLC 在每个扫描周期的内部处理阶段将监控定时器复位。正常情况下，监控定时器不会动作，如果由于 CPU 内部故障使程序执行进入死循环，那么，扫描周期将超过监控定时器的定时时间，这时监视定时器动作，运行停止，以示用户。

综上所述，PLC 虽具有微机的许多特点，但它的工作方式却与微机有很大不同。微机一般采用等待命令的工作方式，而 PLC 则采用循环扫描的工作方式。在 PLC 中用户程序按先后顺序存放，如图 4-21 所示。

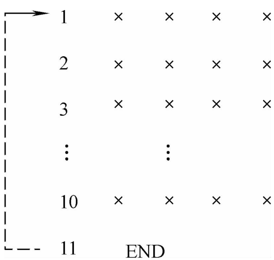


图 4-21　PLC 循环扫描方式图

对每个程序，CPU 从第一条指令开始执行，直至遇到结束符 END 后又返回第一条，如此周而复始不断循环，每一个循环称为一个扫描周期。扫描周期的长短主要取决于以下几个因素：一是 CPU 执行指令的速度；二是执行每条指令占用的时间；三是程序中指令条数的多少。一个扫描周期大致可分为 I/O 刷新和执行指令两个阶段，即：

I/O 刷新	执行指令	I/O 刷新	执行指令	…	…
←第一个扫描周期→		←第二个扫描周期→			

I/O 刷新是指 PLC 先将上一次扫描的执行结果送到输出端，再读取当前输入的状态，也就是将存放输入、输出状态的寄存器内容进行一次更新，故称为“I（输入）/O（输出）刷新”。由于每一个扫描周期只进行一次 I/O 刷新，即每一个扫描周期 PLC 只对输入、输出状态寄存器更新一次，故使系统存在输入、输出滞后现象，这在一定程度上降低了系统的响应速度。由此可见，若输入变量在 I/O 刷新期间状态发生变化，则本次扫描期间输出会相应地发生变化。反之，若在本次刷新之后输入变量才发生变化，则本次扫描输出不变，而要到下一次扫描的 I/O 刷新期间输出才会发生变化。由于 PLC 采用循环扫描的工作方式，所以它的输出对输入的响应速度要受扫描周期的影响。PLC 的这一特点，一方面使它的响应速度变慢，但另一方面也使它的抗干扰能力增强，对一些短时的瞬间干扰，可能会因响应滞后而躲避开。这对一些慢速控制系统是有利的，但对一些快速响应系统则不利，在使用中应特别注意这一点。

总之，采用循环扫描的工作方式，是 PLC 区别于微机和其他控制设备的最大特点，使

用者对此应给予足够的重视。再如继电器控制系统中最基本的“起（动)—保（持)—停（止)”控制，若改用 PLC 控制，其简单、形象化的系统 PLC 控制示意和扫描工作过程如图 4-22 所示。

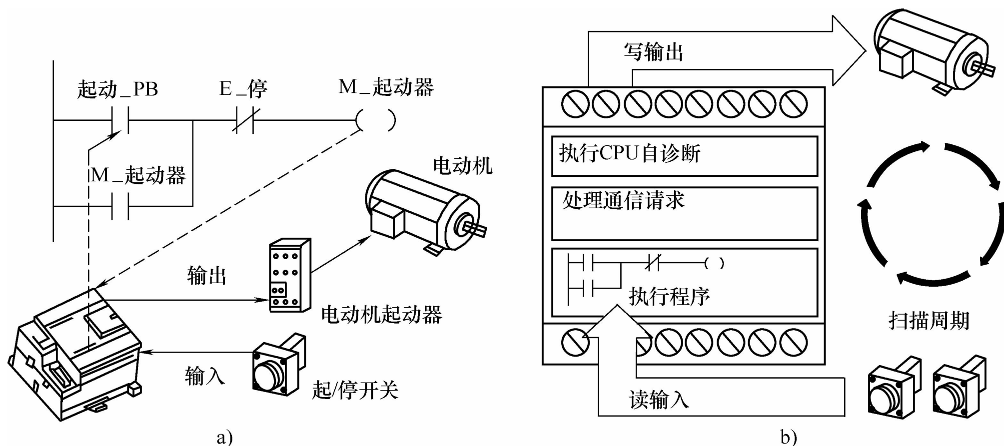


图 4-22　PLC 的系统控制示意和扫描工作过程

a）系统控制示意　b）扫描工作过程

（3）PLC 的扫描周期

PLC 在运行状态时，执行一次图 4-22 所示的扫描操作所用的时间称为扫描周期（工作周期)，其典型值为几十毫秒。扫描周期 T 的计算公式为：

$$T = T1 + T2 + T3 + T4 + T5$$

式中，$T1$ 为内部处理时间；$T2$ 为通信服务时间；$T3$ 为输入处理时间；$T4$ 为程序执行时间；$T5$ 为输出处理时间。

如西门子公司的 CPU226CN 型 PLC，配置数字量输入 24 点，数字量输出 16 点，用户程序为 1000 步，不包含功能指令，PLC 运行时不连接编程器等外设。CPU226CN 型 PLC 的 I/O 扫描速度为 0.03ms/8 点，用户程序的扫描速度为 0.37μs/步，内部处理所需要的时间为 0.96ms。则：

内部处理所需要的时间 $T1 = 0.96\text{ms}$

通信服务所需要的时间 $T2 = 0\text{ms}$

输入处理所需要的时间 $T3 = 0.03\text{ms/8 点} \times 24\text{ 点} = 0.09\text{ms}$

程序执行所需要的时间 $T4 = 0.74\mu\text{s/步} \times 1000\text{ 步} = 0.74\text{ms}$

输出处理所需要的时间 $T5 = 0.03\text{ms/8 点} \times 24\text{ 点} = 0.06\text{ms}$

一个扫描周期 T 为：

$$T = T1 + T2 + T3 + T4 + T5 = 0.96\text{ ms} + 0\text{ms} + 0.09\text{ms} + 0.74\text{ms} + 0.06\text{ms} = 1.85\text{ms}$$

该例中假设用户程序中没有功能指令，而在实际的控制程序设计中，稍微复杂一点的程序都包含有功能指令。对于功能指令，逻辑条件满足与否，执行时间不同甚至差异较大，计算出的扫描周期也不一样。

4.1.4　PLC 的技术性能

由于各厂家的 PLC 产品技术性能不尽相同，且各有特色，故不可能一一介绍，只能介

绍一些最基本的技术性能。

1. 基本技术性能

（1）输入/输出点数（即 I/O 点数）

这是 PLC 最重要的一项技术指标。所谓 I/O 点数，即是 PLC 外部的输入、输出端子数。这些端子可通过螺钉或电缆端口与外部设备相连，它直接决定了 PLC 能控制的输入与输出量的多少，即控制系统规模的大小。

（2）程序容量

一般以 PLC 所能存放用户程序的多少来衡量。在 PLC 中程序是按“步”存放的（一条指令少则一步、多则十几步），一“步”占用一个地址单元，一个地址单元占两个字节。

（3）扫描速度

PLC 工作时是按照扫描周期进行循环扫描的，所以扫描周期的长短决定了 PLC 运行速度的快慢。因扫描周期的长短取决于多种因素，故一般用执行 1000 步指令所需时间作为衡量 PLC 速度快慢的一项指标，称为扫描速度，单位为“ms/k”。扫描速度有时也用执行一步指令所需的时间来表示，单位为“μs/步”。PLC 的 I/O 响应时序图如图 4-23 所示，从中可以了解 PLC 扫描周期和扫描速度的内涵。

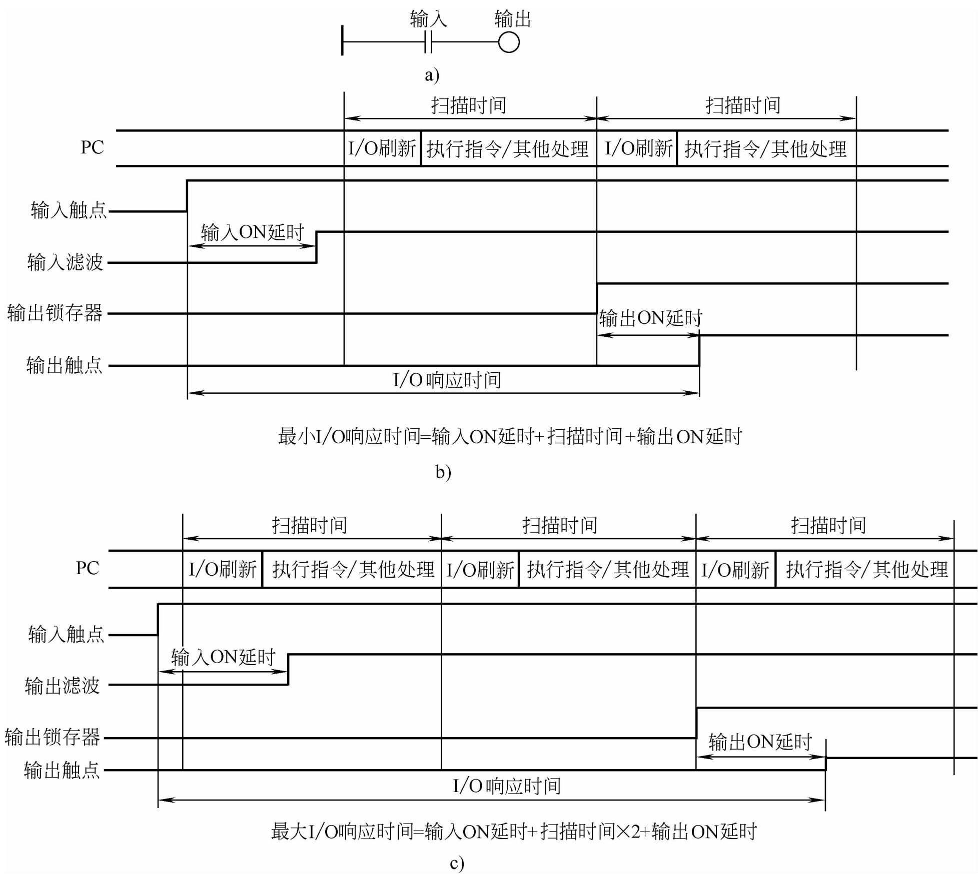


图 4-23　PLC 的 I/O 响应时序图

a）梯形图　b）最小 I/O 响应时序图　c）最大 I/O 响应时序图

（4）指令条数

这是衡量PLC软件功能强弱的主要指标。PLC具有的指令种类越多，说明其软件功能越强。PLC指令一般分为基本指令和高级指令（或称功能指令）两部分。

（5）内部继电器和寄存器

PLC内部有许多继电器和寄存器，用以存放变量状态、中间结果、数据等，还有许多具有特殊功能的辅助继电器和寄存器，如定时器、计数器、系统寄存器、索引寄存器等。用户通过使用它们，可简化整个系统的设计。因此内部继电器、寄存器的配置情况是衡量PLC硬件功能的一个指标。

（6）编程语言及编程手段

编程语言一般分为梯形图、助记符语句表、状态转移图、控制流程图等几类，不同厂家的PLC编程语言类型有所不同，语句也各异。编程手段主要是指用何种编程装置，编程装置一般分为手持编程器和带有相应编程软件的计算机两种。

（7）高级（功能）模块

PLC除了主控模块外还可以配接各种高级模块。主控模块实现基本控制功能，高级模块则可实现某种特殊功能。高级模块的种类及其功能的强弱常用来衡量该PLC产品的技术水平高低。目前各厂家开发的高级模块种类繁多，主要有以下一些：A/D、D/A、高速计数、高速脉冲输出、PID控制、模糊控制、运动控制、位置控制、网络通信以及各种物理量转换模块等。这些高级模块使PLC不但能进行开关量顺序控制，而且能进行模拟量控制，以及精确的速度和定位控制。特别是网络通信模块的迅速发展，使得PLC可以充分利用计算机和互联网的资源，实现远程监控。近年来出现的网络机床、虚拟制造等就是建立在网络通信技术的基础上的。

2. PLC的内存分配及I/O点数

在使用PLC之前，深入了解PLC内部寄存器的配置和功能，以及I/O分配情况对使用者来说是至关重要的。下面是一般PLC产品的内部寄存器区划分情况：

I/O继电器区	内部通用继电器区	数据寄存器区
特殊继电器区	特殊寄存器区	系统寄存器区

每个区分配一定数量的内存单元，并按不同的区命名编号。下面分别介绍各个区。

（1）I/O继电器区

I/O区的寄存器可直接与PLC外部的输入、输出端子传递信息。这些I/O寄存器在PLC中具有“继电器”的功能，即它们有自己的“线圈”和“触点”。故PLC中又常称这一寄存器区为“I/O继电器区”。每个I/O寄存器由一个字（16个bit）组成，每个bit位对应PLC的一个外部端子，称作一个I/O点。I/O寄存器的个数乘以16等于PLC总的I/O点数。如某PLC有10个I/O寄存器，则该PLC共有160个I/O点。在程序中，每个I/O点又都可以看成是一个“软继电器”，有常开触点，也有常闭触点。同一个命名的触点可以反复使用，其使用次数不限。这里的“软继电器”实际上就是PLC内部的逻辑电路或只是一些存储的逻辑量。PLC中常用这样的逻辑量代替实际的物理器件，用这种“软继电器”代替“硬继电器”可以大大减少外部接线，增加系统设计的灵活性，便于实现柔性制造系统（FMS）。这可以说是“继电器-接触器控制”设计上的一个革命，也是PLC之所以能逐渐取

代传统“继电器-接触器控制”的一个重要原因。

不同厂家的PLC对I/O寄存器有不同的编号，有的以I、Q分别表示输入、输出端，以下标数字进行编号；还有的用序号为输入、输出分区编号。不同型号的PLC配置有不同数量的I/O点，一般小型的PLC主机有十几至几十个I/O点。

若一台PLC主机的I/O点数不够，可进行I/O扩展。一般I/O扩展模块中只有I/O接口电路、驱动电路，而没有CPU。它只能通过接口与主机相连使用，不能单独使用。PLC的最大扩展能力主要受CPU寻址能力和主机驱动能力的限制。

（2）内部通用继电器区

这个区的寄存器与I/O区结构相同，既能以字为单位（16个bit）使用，也能以位为单位（1个bit）使用。不同之处在于它们只能在PLC内部位用，而不能直接进行输入/输出控制。其作用与中间继电器相似，在程序控制中可存放中间变量。

（3）数据寄存器区

数据寄存器区的寄存器只能按字使用，不能按位使用。一般只用来存放各种数据。

（4）特殊继电器、寄存器区

特殊继电器、寄存器区中的继电器和寄存器的结构并无特殊之处，也是以字或位为一个单元，但它们都被系统内部占用，专门用于某些特殊目的，如存放各种标志、标准时钟脉冲、计数器和定时器的设定值和经过值、自诊断的错误信息等。这些区的继电器和寄存器一般不能由用户任意占用。

（5）系统寄存器区

系统寄存器一般用来存放各种重要信息和参数，如各种故障检测信息、各种特殊功能的控制参数以及PLC产品出厂设定值。这些信息和参数保证PLC的正常工作。在某些PLC产品中，这些寄存器是以十进制数进行编号的，它们各自存放着不同的信息。这些信息有的可以进行修改，有的是不能修改的。当需要修改系统寄存器时，必须使用特殊的命令，这些命令的使用方法见有关的使用手册。而通过用户程序，不能读取和修改系统寄存器的内容。

上面介绍了PLC的内部寄存器及I/O点的概念，这对使用者是十分重要的。但对于具体的寄存器及I/O编号和分配使用情况，则必须结合具体机型进行针对性的学习和掌握，才有实际意义。

4.1.5　PLC的编程语言

常用的PLC的编程语言主要有以下几种：

1. 梯形图（Ladder Diagram，LAD）

LAD是最常用的PLC图形编程语言。梯形图与“继电器-接触器控制系统”的电路图很相似，具有直观易懂的优点，很容易被工厂熟悉“继电器-接触器”的电气人员掌握，它特别适用于开关量逻辑控制。有时也把梯形图称为电路或程序。“起-保-停”控制电路的梯形图示例如图4-24所示。

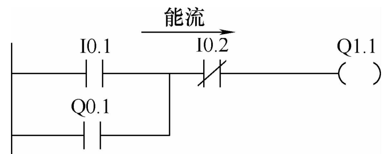


图4-24　“起-保-停”控制电路的梯形图示例

LAD由触点、线圈和用方框表示的功能块组成。触点代表逻辑输入条件，如外部的开关、按钮和内部条件

等；线圈通常代表逻辑输出结果，用来控制外部的指示灯、交流接触器和内部的输出条件等；功能块用来表示定时器、计数器或者数学运算等附加指令。

在分析梯形图中的逻辑关系时，为了借用“继电器-接触器控制系统”电路图的分析方法，可以想象左右两侧垂直母线（右侧垂直母线可省略）之间有一个“左正右负”的直流电源，当图 4-24 的梯形图中 I0.1 与 I0.2 的触点接通，或 Q1.1 与 I0.2 的触点接通时，有一个假想的“能流”（Power Flow）流过 Q1.1 的线圈。利用能流这一概念，可以直观、形象地理解和分析梯形图，能流只能从左向右流动。

在西门子 PLC 中，把触点和线圈等组成的独立电路称为网络（Network），用编程软件生成的梯形图和语句表程序中有网络编号，允许以网络为单位，给梯形图加注释。在网络中，程序的逻辑运算按从左到右的方向执行，与能流的方向一致。各网络按从上到下的顺序执行，执行完成所有的网络后，返回到最上面的网络重新执行。使用编程软件可以直接生成和编辑梯形图，并将它下载到 PLC 中。

2. 指令表（Instruction List，STL）

用梯形图等图形编程虽然直观、简便，但要求 PLC 配置 LRT 显示器方可能输入图形符号。在许多小型、微型 PLC 的编程器中没有 LRT 屏幕显示，或没有较大的液晶屏幕显示，就只能用一系列 PLC 操作命令组成的指令程序将梯形图控制逻辑描述出来，并通过编程器输入到 PLC 中去。

S7 系列 PLC 将指令表称为语句表（Statement List）。PLC 的指令表（语句表、指令字程序、助记符语言）是由若干条 PLC 指令组成的程序。PLC 的指令类似于计算机汇编语言的形式，它是用指令的助记符来编程的。但是 PLC 的指令系统远比计算机汇编语言的指令系统简单得多。PLC 一般有 20 多条基本逻辑指令，可以编制出能替代继电器控制系统的梯形图。因此，指令表也是一种应用很广的编程语言。

PLC 中最基本的运算是逻辑运算，最常用的指令是逻辑运算指令，如“与”、“或”、“非”等。这些指令再加上“输入”、“输出”和“结束”等指令，就构成了 PLC 的基本指令。不同厂家的 PLC，指令的助记符不相同。如 S7 系列 PLC 常见指令的助记符为：

LD/LDN 表示逻辑操作开始，分别为常开触点/常闭触点与左母线连接；

A/AN 表示逻辑“与”/“与反”，分别为常开触点/常闭触点与左边的触点相串联；

O/ON 表示逻辑“或”/“或反”，分别为常开触点/常闭触点与上边的触点相并联；

ALD/OLD 表示逻辑块“与”/“或”；

= 表示输出；

……

指令表是梯形图的派生语言，它保持了梯形图的简单、易懂的特点，并且键入方便、编程灵活。但是指令表不如梯形图形象、直观，较难阅读，其中的逻辑关系也很难一眼看出。所以在设计时一般多使用梯形图语言；而在使用指令表编程时，也是先根据控制要求编出梯形图，然后根据梯形图转换成指令表后再写入 PLC 中，这种转换的规则是很简单的。在用户程序存储器中，指令按步序号顺序排列。

指令表比较适合熟悉 PLC 和逻辑程序设计的经验丰富的程序员，指令表还可以实现某些不能用梯形图（LAD）或顺序功能图（SFC）实现的功能。

S7-200 CPU 在执行程序时要用到逻辑堆栈，LAD 利用 LAD 编辑器自动地插入处理栈操

作所需要的指令。在语句表中，必须由编程人员加入这些堆栈处理指令。

3. 顺序功能图（Sequential Function Chart，SFC）

这是一种位于其他编程语言之上的图形语言，用来编制顺序控制程序。

SFC 提供了一种组织程序的图形方法，在顺序功能图中可以用别的语言嵌套编程。步、转换和动作是顺序功能图中的几种主要元件，步是一种逻辑块，即对应于特定的控制任务的编程逻辑；动作是控制任务的独立部分；转换是从一个任务变换到另一个任务的原因或条件。如图 4-25 所示。可以用顺序功能图来描述系统的功能，根据它可以很容易地编写出梯形图程序。

4. 功能块图

功能块图是一种类似于数字逻辑电路的编程语言，有数字电路基础的人很容易掌握。该编程语言用类似“与门”、“或门”、“非门”的方框来表示逻辑运算关系，方框的左侧为逻辑运算的输入变量，右侧为输出变量，输入、输出端的小圆圈表示“非”运算，信号是自左向右流动的。功能块图如图 4-26 所示。

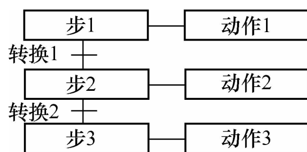


图 4-25　顺序功能图

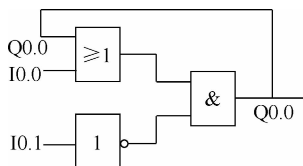


图 4-26　功能块图

5. 结构文本（Structured Text，ST）**及其他高级编程语言**

结构文本是为 IEC1131-3 标准创建的一种专用的高级编程语言，与 FBD 相比，它能实现复杂的数学运算，编写的程序非常简捷和紧凑。

目前也有一些 PLC 可用 BASIC 和 C 等高级语言进行编程，但使用尚不普遍，本书从略。

虽然 PLC 有 5 种编程语言，但在 S7-200 的编程软件中，用户只可以选用 LAD、FBD 和 STL 这 3 种编程语言，其中 FBD 不常用。STL 程序较难阅读，其中的逻辑关系很难一眼看出，所以在设计复杂的开关量控制程序时一般都使用 LAD 语言。但 STL 可以处理某些不能用 LAD 处理的问题，且 STL 输入方便快捷，还可以为每一条语句加上注释，便于复杂程序的阅读。在设计通信、数学运算等高级应用程序时建议使用语句表语言。LAD 程序中输入信号与输出信号之间的逻辑关系一目了然，易于理解，与“继电器-接触器控制系统”电路图的表达式极为相似，设计开关量控制程序时建议选用 LAD 语言。

4.1.6　PLC 的特殊功能

1. PLC 特殊功能的特点与实现形式

（1）PLC 特殊功能的特点

不断开发各种特殊功能与特殊功能模块，是当代 PLC 区别于传统 PLC 的重要标志之一。随着 PLC 技术的发展，其应用领域正在日益扩大。目前，PLC 除在传统的逻辑控制、顺序控制等通用领域广泛应用外，在过程控制、运动控制等特殊领域也已经被大量应用。特殊功能与通用功能比较，其主要区别在于程序处理方式、控制对象、控制范围 3 个方面。

1）程序处理方式。作为 PLC 的特殊功能与特殊功能模块，为了提高处理速度，CPU 对程序的处理可以不使用常规的“循环扫描”方式，用户程序的执行不再需要经过输入采样、执行指令、输出刷新 3 个阶段，而是直接由 PLC 的操作系统进行处理。PLC 的集成中断处理、高速计数与高速脉冲输出功能即属于这一范畴。

对于部分特殊功能模块，其本身就带有独立的处理器、存储器等基本硬件与必要的软件，有的模块还可以独立使用，此类模块通常称为智能模块。PLC 对智能模块的控制，只需要在用户程序中调用标准程序块（通常由西门子公司提供，用户只需要在程序中调用），并通过标准程序块向模块发送必要的控制指令或检测其处理结果。

总的说来，PLC 特殊功能的处理速度通常比普通的顺序逻辑控制程序的处理速度更快，可以用于高速系统的控制。

2）控制对象。通过使用特殊功能与特殊功能模块，PLC 的控制对象可以从传统的开关量逻辑运算扩展到模拟量检测、控制等以往需要通过集散控制系统（DCS）解决的领域，还可以扩展到位置检测、位置控制、轨迹控制等以往需要通过数控系统（CNC）解决的领域。如 S7 系列 PLC 在这方面的特殊功能主要有模拟量输入（A/D 转换）、模拟量输出（D/A 转换）、模拟量闭环调节（PID 调节）、位置检测、位置控制、多轴插补等。

3）控制范围。使用特殊功能与特殊功能模块，PLC 的控制范围可以超出控制对象本身，如借助于网络与通信手段，PLC 可以与外部设备进行信息交换，实现网络链接与数据通信。S7 系列 PLC 在这方面的特殊功能主要有各种通信处理功能、网络链接功能等。

（2）特殊功能的实现形式

为了降低成本、增强用户使用的灵活性，在 PLC 中经常将某些简单的功能，如高速计数、脉冲输出、模拟量输入/输出等，直接集成于 PLC 的 CPU 模块（或基本单元）上，此类实现形式统称为“PLC 集成功能”。

由于 PLC 结构、成本等方面的限制，集成功能的应用范围通常较狭隘，功能也相对较简单，多用于中小规格的 PLC。如 S7-200 系列与 S7-300 系列中的紧凑型 PLC 模块即具备中断控制、高速计数、脉冲输出、模拟量输入/输出等简单特殊功能。

对于过程控制、位置控制等场合所需要的复杂功能，一般都需要通过专门的模块才能实现。此类模块被称为特殊功能模块或功能模块。

当采用特殊功能模块时，模块可以直接安装于 PLC 的机架上，或与 PLC 的扩展接口进行连接，以构成集中式 PLC 控制系统。

根据不同的用途，特殊功能模块的内部组成与功能相差甚大。部分特殊功能模块本身就带有独立的处理器（CPU）、可编程门阵列（Field Programmable Gate Array，FPGA）、存储器等组件。模块既可以通过 PLC 进行控制，也可以独立使用，甚至还可利用 PLC 的 I/O 模块进行输入/输出点的扩展，其性能与独立的控制装置相当。

2. 特殊功能的分类

从功能用途上，PLC 的特殊功能大致可以分为计数、脉冲输出与位置控制类，A/D、D/A 转换类，温度测量与控制类，网络通信类四大类。特殊功能模块的品种与规格可以多达数十种（根据 PLC 型号与模块用途而不同）。

（1）计数、脉冲输出与位置控制类

高速计数、脉冲输出是 PLC 的常用功能。高速计数功能用于速度、位置等系统的转速、

位置测量，它可以对来自编码器、计数开关等的输入脉冲信号进行计数，从而获得实际控制系统的转速、位置的实际值，以供 PLC 运算、处理使用（如图 4-27 所示）。

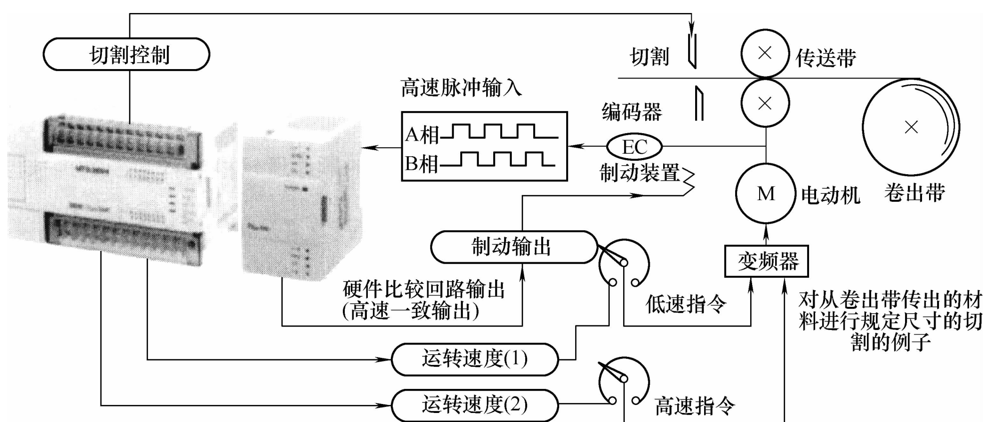


图 4-27　高速计数功能的应用

脉冲输出与位置控制功能用于自动定位控制，它可以将 PLC 内部的位置给定值转换为输出脉冲数与频率可变的速度、位置脉冲输出，达到改变速度、位置的目的。

当脉冲输出为集成功能时，输出形式一般为集电极开路晶体管驱动输出；当采用功能模块时，脉冲输出的形式可以是差动输出、集电极开路晶体管输出或者通过高速总线输出，驱动器可以是步进电动机驱动器或交流伺服驱动器，但必须具有位置控制功能，并且能够直接接收位置脉冲输入信号或是总线信号（如图 4-28 所示）。

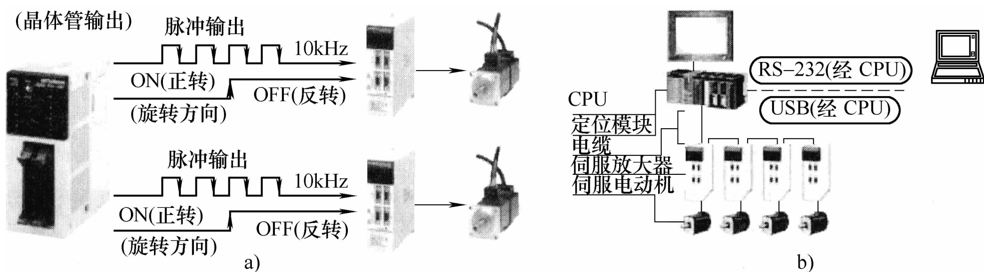


图 4-28　脉冲输出、位置控制功能的应用
a）脉冲输出型　b）总线控制型

对于简单控制系统中，少量要求不高的高速计数与脉冲输出，通常可以选用具有集成 I/O 的 PLC-CPU 模块，但在需要进行多点、极高频率的计数与脉冲输出，或是实现较复杂位置控制的场合，需要选用专门的功能模块。

此外，为了对简单的位置控制系统进行控制，如在 S7 系列 PLC 中还可以选用 FM351、FM352 等简易位置控制模块。此类模块本身不具备脉冲输出功能，但模块的位置测量功能完善，它们可以根据不同的定位控制要求，以开关量的形式输出简单的控制信号（如高低速转换信号、正反转信号等），控制普通电动机、变频电动机等，构成简易位置开环控制系统或代替传统的凸轮控制器使用。

当高速计数、高速脉冲（或速度给定模拟量）输出功能合成后，便可以实现闭环位置控制系统的偏差计算、位置控制等功能，代替单轴位置控制器。在模块具备多轴控制功能时，还可以控制坐标轴进行插补运算，从而实现运动轨迹控制的功能，在局部范围内代替数控系统（CNC）的功能。以上模块被称为定位控制模块，如西门子的 FM353、FM354、FM357-2 即属于其中的代表。

（2）模拟量转换与闭环控制类

模拟量转换包括 A/D、D/A 转换（也称模拟量输入/输出），功能模块主要包括模拟量输入模块（A/D 转换）、模拟量输出模块（D/A 转换）以及模拟量输入/输出混合模块 3 类。当采用功能模块时，可以根据所需要的输入/输出点数（通道数量）、转换精度（转换位数、分辨率）选用不同的规格。对于简单系统的少量 A/D、D/A 转换，也可以通过 CPU 集成的模拟量输入/输出功能附带于 PLC 的 CPU 模块上。

A/D 转换的作用是将来自过程控制的传感器输入信号，如电压、电流等连续变化的物理量（模拟量）直接转换为一定位宽的数字量信号，以便 PLC 内部的数学运算指令对其进行运算与处理（如图 4-29 所示）。

D/A 转换的作用是将 PLC 内部的数字量信号转换为电压、电流等连续变化的物理量（模拟量）输出。它可以用做变频器、伺服驱动器等控制装置的速度、位置给定输入，或用来作为外部仪表的显示信号（如图 4-30 所示）。

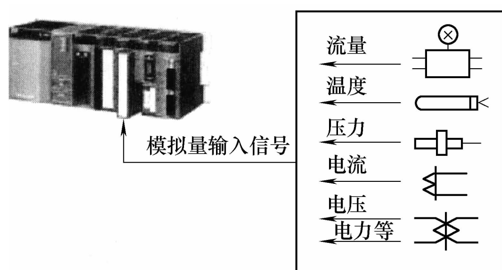


图 4-29　A/D 转换的应用

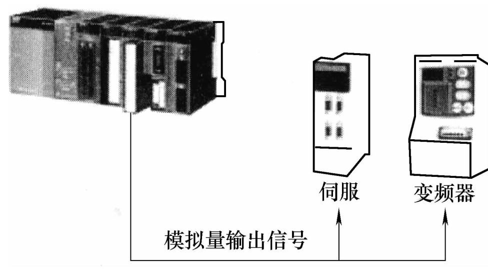


图 4-30　D/A 转换的应用

A/D、D/A 转换可以结合 PLC 内部的 PID 调节功能一起使用，实现对模拟量控制系统的闭环调节与控制。

当 A/D、D/A 转换与 PID 调节器等功能合成后，便可以直接作为闭环模拟量控制系统的偏差计算、调节器部分，在闭环控制系统中使用，此类模块称为闭环控制模块，如西门子的 FM355、FM355-2 即属于其中的代表。

（3）温度测量与控制类

PLC 用于温度测量与控制的功能模块包括温度测量与温度控制两类。温度测量功能可以将来自过程控制的热电偶、铂电阻等温度测量元件的输入信号，转换为一定位数的数字量，以供 PLC 内部进行运算、处理（如图 4-31 所示）。

温度测量模块实质上是一种模拟量输入模块，只是其变化量一般为电阻值，传感器本身为无源检测元件，需要 PLC 提供测量电源，因此，在 PLC 中经常将温度测量与模拟量输入功能集成在同一模块中。

温度控制功能可以将来自过程控制的温度测量输入与系统的温度给定信号进行比较，并通过可编程的 PID 调节与模块的自动调谐功能，实现温度的自动调节与控制。温度测量元件可以是热电偶、铂电阻等。在温度控制功能模块中，还可以输出对应的温度控制信号（触点输出、晶体管输出等），以控制加热器的工作状态（如图 4-32 所示）。

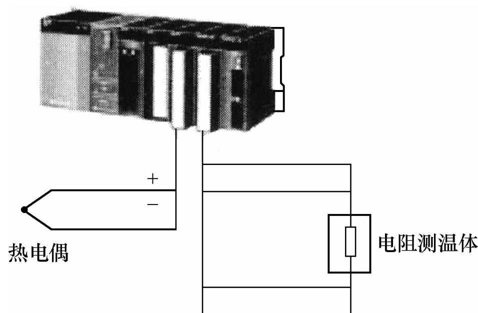


图 4-31　温度测量功能的应用

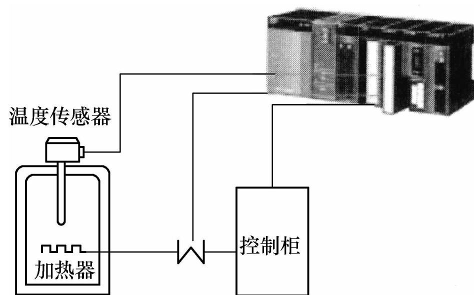


图 4-32　温度控制功能的应用

（4）通信网络类

通信网络类集成功能与功能模块包括串行通信、远程 I/O 主站、AS-i 主站、Ethemet 网络连接、PROFIBUS 网络连接等。西门子的工业自动化通信网络如图 4-33 所示，根据不同的网络与连接线的形式，有多种规格可供灵活选择。

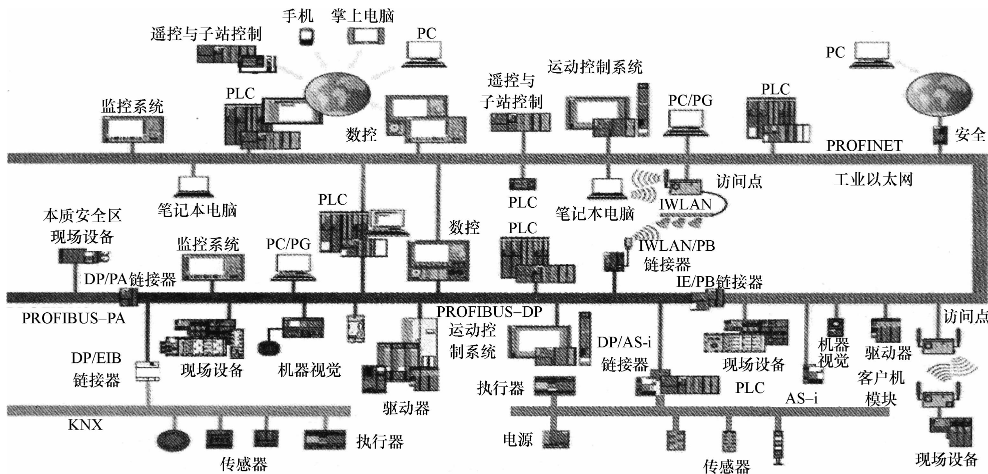


图 4-33　西门子的工业自动化通信网络

4.1.7　PLC 的主流产品

目前，世界上有 200 多个厂家生产 300 多种 PLC 产品，比较著名的厂家有美国的 AB（被 ROCKWELL 收购）、GE、MODICON（被 SCHNEIDER 收购），日本的 MITSUBISHI、OMRON、FUJI、松下电工，德国的 SIEMENS 和法国的 SCHNEIDER 公司等。在全球 PLC 制造商中，根据美国 Automation Research Corp（ARC）调查，世界 PLC 主导厂家的五霸分别为日

本的 MITSUBISHI（三菱）公司、OMRON（欧姆龙）公司；德国的 SIEMENS（西门子）公司；美国的 Allen-Bradley（AB）公司；法国的 SCHNEIDER（施耐德）公司；他们的销售额约占全球总销售额的三分之二。我国的 PLC 产品市场目前也还被外国人垄断着、霸占着。

我国的 PLC 生产目前也有一定的发展，小型 PLC 已批量生产；中型 PLC 已有产品；大型 PLC 已开始研制。国内 PLC 形成产品化的生产企业约 30 多家，国内产品市场占有率不超过 10%，主要生产单位有：苏州电子计算机厂、苏州机床电器厂、上海兰星电气有限公司、天津市自动化仪表厂、杭州通灵控制电脑公司、北京机械工业自动化所和江苏嘉华实业有限公司等。目前国内产品在价格上占有明显的优势，而在质量上还稍有欠缺和不足。随着新一代开放式 PLC 走向市场，国内的生产厂家，如和利时、浙大中控等生产的基于 IEC61131-3 编程语言的 PLC 有可能会在未来的 PLC 市场中占有一席之地。

4.1.8 PLC 的主要应用

随着 PLC 功能的不断完善、性价比的不断提高，它的应用面也越来越广。目前，PLC 在国内外已广泛应用于钢铁、采矿、水泥、石油、化工、电子、机械制造、汽车、船舶、装卸、造纸、纺织、环保和娱乐等行业，主要的应用范围包括开关量的逻辑控制、模拟量控制、运动控制、过程控制、数据处理、信号报警和联锁系统以及通信和联网等方面。

（1）开关量的逻辑控制

这是 PLC 最基本、最广泛的应用领域，可用它取代传统的“继电器-接触器”控制电路，实现逻辑控制、顺序控制，既可用于单机设备的控制，又可用于多机群控制及自动化流水线。如电梯控制、高炉上料、注塑机、印刷机、数控与组合机床、磨床、包装生产线、电镀流水线等。

（2）模拟量控制

在工业生产过程中，有许多连续变化的模拟量，如温度、压力、流量、液位和速度等。为使 PLC 能处理模拟量信号，PLC 各厂家都生产有配套的 A/D 和 D/A 转换模块，使 PLC 可直接用于模拟量控制。

（3）运动控制

PLC 可以用于圆周运动或直线运动的控制。从控制机构配置来说，早期直接用开关量 I/O 模块连接位置传感器和执行机构；现在可使用专用的运动控制模块，如可驱动步进电动机或伺服电动机的单轴或多轴位置控制模块。世界上各主要 PLC 厂家的产品几乎都有运动控制功能，广泛地用于各种机械、机床、机器人、电梯等场合。

（4）过程控制

过程控制是指对温度、压力、流量等模拟量的闭环控制。作为工业控制计算机，PLC 能编制各种各样的控制算法程序，完成闭环控制。PID 控制是一般闭环控制系统中常用的控制方法。目前不仅大中型 PLC 都有 PID 模块，而且许多小型 PLC 也具有 PID 功能。PID 处理一般是运行专用的 PID 子程序。过程控制在冶金、化工、热处理、锅炉控制等场合有非常广泛的应用。过程控制又可细分为慢连续量的过程控制和快连续量的运动控制两种。

1）慢连续量的过程控制。慢连续量的过程控制是指对温度、压力、流量和速度等慢连续变化的模拟量的闭环控制。作为工业控制计算机，PLC 通过模拟量输入输出模块，实现 A/D 和 D/A 的转换，并通过专用的智能 PID 模块，编制各种各样的控制算法程序，实现对

模拟量的闭环控制，使被控变量保持为设定值。PID 控制是一般闭环控制系统中常用的控制方法，PID 处理一般是运行专用的 PID 子程序。PLC 的这一功能已广泛应用在电力、冶金、化工、轻工、机械等行业。例如，锅炉控制、加热炉控制、磨矿分级过程控制、水处理控制、酿酒控制等。

2）快连续量的运动控制。PLC 提供了拖动步进电动机或伺服电动机的单轴或多轴位置控制模块，通过这些模块可实现直线运动或圆周运动的控制。如今，运动控制已是 PLC 不可缺少的功能之一，世界上各主要 PLC 厂家的产品几乎都有运动控制功能，广泛地用于各种机械、机床、机器人、电梯等场合。

（5）数据处理

现代 PLC 具有数学运算（含矩阵运算、逻辑运算）、数据传送、数据转换、排序、查表、位操作等功能，可以完成数据的采集、分析及处理。这些数据可以与储存在存储器中的参考值比较，完成一定的控制操作，也可以利用通信功能传送给别的智能装置，或将它们打印制表。数据处理一般用于大型控制系统，如无人控制的柔性制造系统；也可用于过程控制系统，如造纸、冶金、食品工业中的一些大型控制系统。

（6）通信和联网

随着计算机控制技术的不断发展，工厂自动化网络的发展也更加迅猛，各 PLC 厂商都十分重视 PLC 的通信功能，纷纷推出各自的网络系统。最新生产的 PLC 都具有通信接口，实现通信非常的方便。PLC 通信包含 PLC 之间的通信以及 PLC 与其他智能设备之间的通信，主要有以下四种情况：

1）PLC 之间的通信：PLC 之间可一对一通信，也可在多达几十甚至几百台 PLC 之间进行通信。既可在同型号 PLC 之间进行通信，也可在不同型号的 PLC 之间进行通信。例如可以将三菱 FX 系列 PLC 作为三菱 A 系列 PLC 的就地控制站，从而可简单地实现生产过程的分散控制和集中管理。

2）PLC 与各种智能控制设备之间的通信：PLC 可与条形码读出器、打印机以及其他远程 I/O 智能控制设备进行通信，形成一个功能强大的控制网络。

3）PLC 与上位计算机之间的通信：可用计算机进行编程，或对 PLC 进行监控和管理。通常情况下，采用多台 PLC 实现分散控制，由一台上位计算机进行集中管理，这样的系统称为分布式控制系统。

4）PLC 与 PLC 的数据存取单元进行通信：PLC 提供了各种型号不一的数据存取单元，通过此数据存取单元可方便地对设定数据进行修改、对各监控点的数据或图形变化进行监控、还可对 PC 出现的故障进行诊断等。

近几年来，随着计算机控制技术和通信网络技术的发展，已兴起工厂自动化（FA）网络系统。PLC 的联网、通信功能适应了智能化工厂发展的需要，它可使工业控制从点到线再到面，使设备级的控制、生产线的控制和工厂创造更高的效益。

PLC 的应用领域越来越广泛，几乎可以说凡是有控制系统存在的地方都需要 PLC。在发达国家，PLC 已广泛应用于几乎所有的工业部门，随着 PLC 性能价格比的不断提高，PLC 的应用范围还将不断扩大。对于 PLC 应用的整体认识如图 4-34 所示；以 S7-200 系列 PLC 为核心的工业网络结构如图 4-35 所示。图 4-36、图 4-37 所示分别是 S7-200 系列 PLC 在广电系统中的应用以及计算机和 PLC 通信在石化行业中的应用案例。

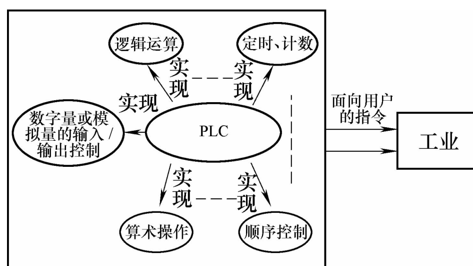


图4-34　对于PLC的整体应用认识

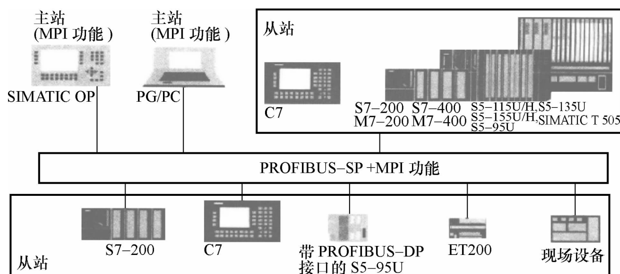


图4-35　以S7-200为核心的工业网络结构

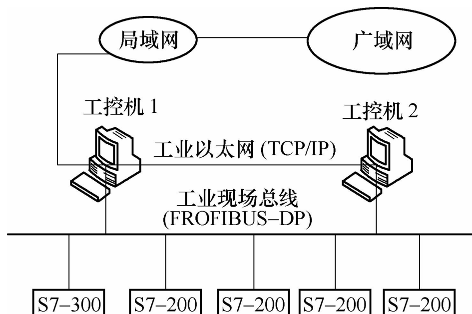


图4-36　S7-200PLC在广电系统中的应用

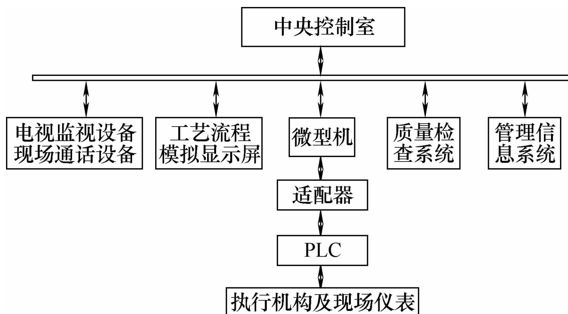


图4-37　计算机和PLC通信在石化行业中的应用

更简单地说，PLC就是一台工业控制计算机，它的全称是可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller）。如果说融入人们日常生活的计算机是通用级电脑的话，那么PLC则是专业级的，是业界倍受推崇的工业控制器。PLC和计算机一样，也是由中央处理器（CPU）、存储器（Memory）及输入/输出单元（I/O）三大部分组成的，但它又不同于一般的计算机，更适合工业控制。图4-38所示为PLC用于电动机控制。

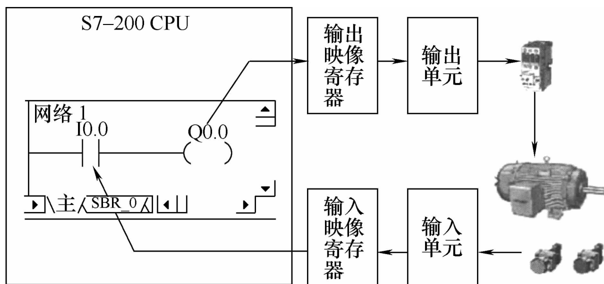


图4-38　PLC用于电动机控制

4.2　S7-200系列PLC的开发应用指南

PLC的种类繁多，发展迅猛。S7-200系列PLC属于S7-200/300/400/1200家族中的功能最精简、I/O点数最少、扩展性能最低的PLC系列产品，可以称为微型PLC系列产品。本节就以S7-200系列PLC作为目标机型，介绍它的开发应用，为今后更好地学习S7-300/400打下基础。S7-200系列PLC作为SIMATIC PLC家族中的最小成员，以其超小体积、灵活的配置，指令丰富、内置功能强大、通信能力强劲、性价比高等特点，在工业控制领域得到了广泛的应用。其外观图与外部结构图如图4-39和图4-40所示。

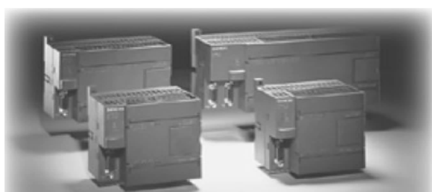


图4-39　S7-200 PLC的外观图

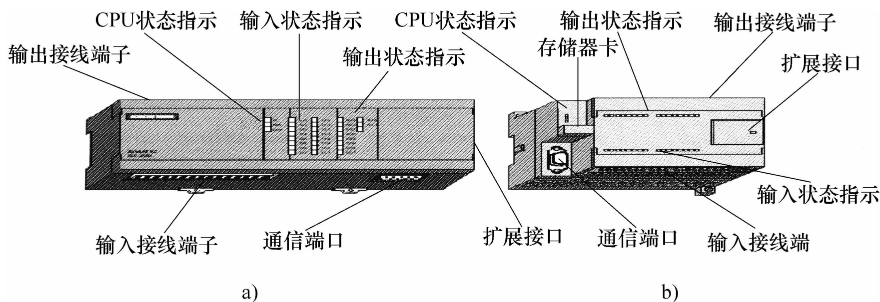


图 4-40　S7-200 PLC 的外部结构图
a）S7-21X 系列　b）S7-22X 系列

（1）输入接线端子

输入接线端子用于连接外部控制信号。在底部端子盖下是输入接线端子和为传感器提供 24V 直流电源的接线端子。

（2）输出接线端子

输出接线端子用于连接被控制设备。在顶部端子盖下是输出接线端子和 PLC 的工作电源端子。

（3）CPU 状态指示

CPU 状态指示灯有 SF、STOP、RUN 三个，其作用见表 4-5。

表 4-5　CPU 状态指示灯的作用

名　称		状态及作用	
SF	系统故障	亮	严重的出错或硬件故障
STOP	停止状态	亮	不执行用户程序，可以通过编程装置向 PLC 装载程序或进行系统设置
RUN	运行状态	亮	执行用户程序

（4）输入状态指示

输入状态指示灯用于显示是否有外部控制信号（如控制按钮、行程开关、接近开关、光电开关及传感器等数字量信号）接入。

（5）输出状态指示

输出状态指示灯用于显示 CPU 是否有信号输出到执行设备（如接触器、电磁阀、指示灯等）。

（6）扩展接口

扩展接口通过扁平电缆连接数字量 I/O 扩展单元、模拟量 I/O 扩展单元、热电偶模块、通信模块等。CPU 与扩展模块的连接如图 4-41 所示。

（7）通信接口

通信接口支持 PPI、MPI 通信协议，有自由口通信能力，用于连接编程器（手提式或 PC）、文本/图形显示器、PLC 网络等外部设备，如图 4-42 所示。

（8）模拟电位器

模拟电位器用来改变特殊寄存器（SM28、SM29）中的数值，以改变程序运行时的参数，如定时器、计数器的预置值、过程量的控制参数等。

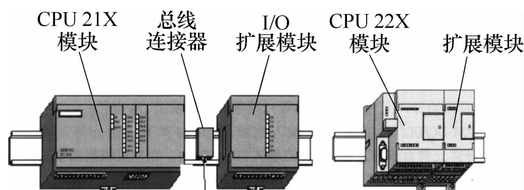


图 4-41　CPU 与扩展模块的连接

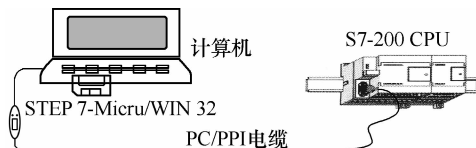


图 4-42　PLC 与 S7-200 的连接

（9）输入/输出端子接线

其典型代表 CPU224 的输入/输出端子接线如图 4-43 所示。

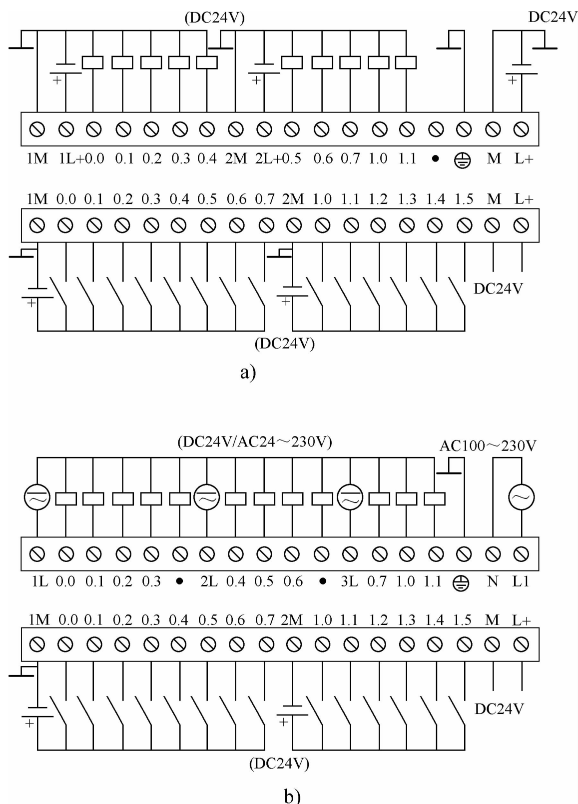


图 4-43　CPU224 的端子连接图

a）直流供电、晶体管输出　b）交流供电、继电器输出

4.2.1　S7-200 系列 PLC 的硬件模块

1. S7-200 系列 PLC 的基本模块

S7-200 系列 PLC 有 CPU21X 和 CPU22X 两代产品，其不同的型号主要是根据通过集成的输入/输出点数、程序和数据存储器容量、可扩展性等而区分。S7-200 系列 PLC 的基本型号通过基本单元——CPU 模块进行区分，共有上述 5 种基本规格。每种规格中，根据 PLC 电源的不同，还可以分为 AC 电源输入/继电器输出与 DC 电源输入/晶体管输出两种类型，因此，本系列 PLC 有 10 种不同的基本型号模块可以供用户选用。

5 种不同的 S7-200CPU 如图 4-44 所示。

1）CPU221 集成 6 输入/4 输出共 10 个数字量 I/O 点，无 I/O 扩展能力。它包括 6KB 程序和数据存储空间，4 个独立的 30kHz 高速计数器，2 个独立的 20kHz 高速脉冲输出。它还有 1 个 RS-485 通信/编程口，具有 PPI 通信协议、MPI 通信协议和自由方式通信能力。CPU221 是非常适合于小点数控制的微型控制器。

2）CPU222 集成 8 输入/6 输出共 14 个数字量 I/O 点，可连接 2 个扩展模块，最大扩展至 78 路数字量 I/O 点或 10 路模拟量 I/O 点。它包括 6KB 程序和数据存储空间，4 个独立的 30kHz 高速计数器，2 个独立的 20kHz 高速脉冲输出。它也有 1 个 RS-485 通信/编程口，具有 PPI 通信协议、MPI 通信协议和自由方式通信能力。CPU222 也是非常适合于小点数控制的微型控制器。

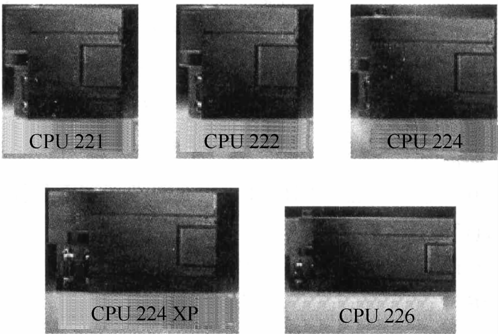


图 4-44　5 种不同的 S7-200 CPU 实物图

3）CPU224 集成 14 输入/10 输出共 24 个数字量 I/O 点，可连接 7 个扩展模块，最大扩展至 168 路数字量 I/O 点或 35 路模拟量 I/O 点。它包括 16KB 程序和数据存储空间，6 个独立的 30kHz 高速计数器，2 个独立的 20kHz 高速脉冲输出，具有 PID 控制器。它有 1 个 RS-485 通信/编程口，具有 PPI 通信协议、MPI 通信协议和自由方式通信能力。其 I/O 端子排可很容易地整体拆卸，是具有较强控制能力的控制器。

4）CPU224XP 是在 CPU224 基础上的扩展，其模拟量 I/O 点最大可扩展至 38 路；6 个独立的 100kHz 高速计数器，2 个独立的 100kHz 高速脉冲输出，具有 PID 控制器。它有 2 个 RS-485 通信/编程口，具有 PPI 通信协议、MPI 通信协议和自由方式通信能力。

5）CPU226 集成 24 输入/16 输出共 40 个数字量 I/O 点，可连接 7 个扩展模块，最大扩展至 248 路数字量 I/O 点或 35 路模拟量 I/O 点。它包括 22KB 程序和数据存储空间，6 个独立的 30kHz 高速计数器，2 个独立的 20kHz 高速脉冲输出，具有 PID 控制器。它有 2 个 RS-485 通信/编程口，具有 PPI 通信协议、MPI 通信协议和自由方式通信能力。其 I/O 端子排可很容易地整体拆卸，可用于较高要求的控制系统。它具有更多的输入输出点，更强的模块扩展能力，更快的运行速度和功能更强的内部集成特殊功能，因此可完全适应于一些复杂的中小型控制系统。CPU226XM 是在原有的 CPU226 的基础上将程序存储空间和数据存储空间扩大了一倍。

2. S7-200 系列 PLC 的扩展模块

（1）开关量输入扩展模块

最新 S7-200 系列 PLC（CPU221 除外）可以选用 25 种不同的扩展模块，以增加 PLC 的 I/O 点数或功能。开关量输入/输出扩展模块的型号与规格见表 4-6。

表 4-6　S7-200 PLC 开关量扩展模块一览表

型号	名　称	主要参数	DC5V 消耗	功耗	订　货　号
EM221	开关量输入	8 点，DC24V 输入	30mA	1W	6ES7 221-1BF22-0XA0
		8 点，AC120/230V 输入	30mA	3W	6ES7 221-1EF22-0XA0
		16 点，DC24V 输入	70mA	3W	6ES7 221-1BH22-0XA0

（续）

型号	名　　称	主 要 参 数	DC5V 消耗	功耗	订　货　号
EM222	开关量输出	8 点，DC24V/0.75A 输出	50mA	2W	6ES7 222-1BF22-0XA0
		8 点，2A 继电器接点输出	40mA	2W	6ES7 222-1HF22-0XA0
		8 点，AC120/230V 输出	110mA	4W	6ES7 222-1EF22-0XA0
		4 点，DC24V/5A 输出	40mA	3W	6ES7 222-1BD22-0XA0
		4 点，10A 继电器接点输出	30mA	4W	6ES7 222-1HD22-0XA0
EM223	开关量输入/输出混合模块	4 输入/4 输出，DC24V	40mA	2W	6ES7 223-1BF22-0XA0
		4 点 DC24V 输入/4 继电器输出	40mA	2W	6ES7 223-1HF22-0XA0
		8 输入/8 输出，DC24V	80mA	3W	6ES7 223-1BH22-0XA0
		8 点 DC24V 输入/8 点继电器输出	80mA	3W	6ES7 223-1PH22-0XA0
		16 输入/16 输出，DC24V	160mA	6W	6ES7 223-1BL22-0XA0
		16 点 DC24V 输入/16 点继电器输出	150mA	6W	6ES7 223-1PL22-0XA0

（2）模拟量输入/输出扩展

S7-200 系列 PLC（CPU221 除外）可以通过选用 5 种模拟量 I/O 扩展模块（包括温度测量模块），增加 PLC 的温度、转速、位置等的测量、显示与调节功能。模拟量输入/输出扩展模块的型号与规格见表 4-7。

表 4-7　S7-200 系列模拟量扩展模块一览表

型号	名　　称	主 要 参 数	DC5V 消耗	功耗	订　货　号
EM231	模拟量输入	4 点，DC0 ~ 10V/0 ~ 20mA 输入，12 位	20mA	2W	6ES7 231-0HC22-0XA0
		2 点，热电阻输入，16 位	87mA	1.8W	6ES7 231-7PB22-0XA0
		4 点，热电偶输入，16 位	87mA	1.8W	6ES7 231-1PD22-0XA0
EM232	模拟量输出	2 点，－10V ~ ＋10V/0 ~ 20mA，12 位	20mA	2W	6ES7 232-0HB22-0XA0
EM235	模拟量输入/输出混合模块	4 输入/1 输出，DC0 ~ 10V/0 ~ 20mA 输入；DC－10V ~ ＋10V/0 ~ 20mA 输出	30mA	2W	6ES7 235-1 KD 22-0XA0

（3）定位扩展模块

S7-200 系列 PLC（CPU221 除外）可以通过选用一种定位扩展模块增加 PLC 的位置控制与调节功能。其模块的主要参数见表 4-8。

表 4-8　S7-200 系列定位扩展模块一览表

型号	名　　称	主 要 参 数	DC5V 消耗	功耗	订　货　号
EM253	模拟量输入	位置输出：两相脉冲（RS-422 接口驱动）；脉冲频率范围：12 ~ 200kHz	190mA	2.5W	6ES7 253-1AA22-0XA0

（4）网络扩展

S7-200 系列 PLC（CPU221 除外）除了可以通过 CPU 模块的集成 RS-422/485 接口与外

部设备进行通信外，还可以通过 4 种网络链接模块增加网络功能，以构成 PLC 网络控制系统。网络链接扩展模块的主要性能见表 4-9。

表 4-9　S7-200 系列网络链接扩展模块一览表

型号	名　称	主 要 参 数	DC5V 消耗	功耗	订　货　号
EM277	PROFIBUS-DP 总线接口	接口类型：RS-485 通信速率：9.6kbit/s ~ 12Mbit/s 每段最多站数：32 每网络最多站数：126 连接电缆长度：100 ~ 1000m（与通信速率有关）	150mA	2.5W	6ES7 277-0AA22-0XA0
CP243-1	以太网接口模块	接口类型：RJ45 通信速率：10/100Mbit/s 最大同时通信数量：8 个	55mA	1.75W	6GK7 243-1EX00-0XE0
CP243-1IT	以太网接口模块	接口类型：RJ45 通信速率：10/100Mbit/s 最大同时通信数量：8 个	55mA	1.75W	6GK7 243-1GX00-0XE0
CP243-2	远程 I/O 链接模块	接口类型：AS-i 占用 PLC 地址：2 个 I/O 模块 最大安装数量：2 个	220mA	2W	6GK7 243-2AX00-0XA0

基本单元通过其右侧的扩展接口用总线连接器与扩展单元左侧的扩展接口相连接，如图 4-45 所示。

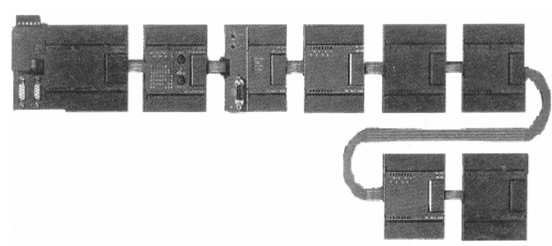


图 4-45　CPU 扩展连接

4.2.2　S7-200 系列 PLC 的主要硬、软件性能指标

1. 硬件性能指标

S7-200 系列 PLC 的硬件性能指标包括电源规范、输入规范、输出规范、主要性能参数等，见表 4-10 ~ 表 4-13。使用中必须符合这些性能指标。

表 4-10　电 源 规 范

项　目	AC 电源型 CPU					DC 电源型 CPU				
	221	222	224	224XP	226	221	222	224	224XP	226
功耗	3W	5W	7W	8W	11W	6W	7W	10W	11W	17W
额定输入电压	AC120/240V					DC24V				
允许输入电压范围	AC85 ~ 264V					DC20.4 ~ 28.8V				

（续）

项　目	AC 电源型 CPU					DC 电源型 CPU				
	221	222	224	224XP	226	221	222	224	224XP	226
额定频率	50/60Hz(47～63Hz)					—				
电源熔断器	250V/3A					250V/2A				
电源消耗(仅 CPU,mA)	30/15	30/15	60/30	70/35	80/40	80	85	110	120	150
电源消耗(带负载后,mA)	120/60	120/60	200/100	220/100	320/160	450	500	700	900	1050

表 4-11　输 入 规 范

项　目	AC、DC 电源型				
	CPU221	CPU222	CPU224	CPU224XP	CPU226
CPU 集成输入点数	6	8	14	14	24
输入信号电压	DC24V，允许范围：DC15～30V				
输入信号电流	4mA/DC24V				
输入 ON 条件	≥2.5mA/DC 15V（CPU224XP 型：10.3～10.5 为 8mA/DC 4V）				
输入 OFF 条件	≤1.0mA/DC 5V（CPU224XP 型：10.3～10.5 为 1mA/DC1V）				
允许最大输入漏电流	1.0mA				
输入响应时间	0.2～12.8ms（可以选择）				
输入信号形式	接点输入或 NPN 集电极开路输入（源/汇点通用输入）				
输入隔离电路	双向光耦合				
输入显示	输入 ON 时，指示灯（LED）亮				

表 4-12　输 出 规 范

项　目	AC、DC 电源型	
CPU 集成输出点数	CPU221：4 点；CPU222：6 点；CPU224：10 点；CPU224XP：10 点；CPU226：16 点	
输出类型	继电器输出	晶体管输出
输出电压	AC：5～250V；DC：≤5～30V	DC20.4～28.8V（CPU224XP 型：Q0.0～Q0.4 为 DC5～28.8V）
最大输出电流	≤2A/点：公共端≤10A	≤0.75A/点：公共端≤6A（CPU224XP 型：≤3.75A）
驱动电阻负载容量	≤30W/点(DC)：≤200VA/点（AC）	≤5W/点
输出“1”信号	—	≥20V/0.75A
输出“0”信号	—	≤0.1V/10kΩ 负载
输出开路漏电流	—	≤10μA
输出响应时间（接通）	≈10ms	一般输出≤15μs：Q0.0/Q0.1 为 2μs（CPU224XP 型 0.5μs）
输出响应时间（断开）	≈10ms	一般输出≤130μs：Q0.0/Q0.1 为 10μs（CPU224XP 型 1.5μs）
输出隔离电路	触点机械式隔离	光耦合隔离
输出显示	输出线圈 ON 时，指示灯（LED）亮	光耦合 ON 时，指示灯（LED）亮

表 4-13　主要性能参数

S7-200 系列 PLC	CPU221	CPU222	CPU224	CPU224XP	CPU226
集成数字量输入输出	6 入/4 出	8 入/6 出	14 入/10 出	14 入/10 出	24 入/16 出
可连接的扩展模块数量(最大)	不可扩展	2	7	7	7
最大可扩展的数字量输入输出点数	不可扩展	78	168	168	248
最大可扩展的模拟量输入输出点数	不可扩展	10	35	38	35
用户程序区(在线/非在线)/(KB/KB)	4/4	4/4	8/12	12/16	16/24
数据存储区/KB	2	2	8	10	10
数据后备时间(电容)/h	50	50	50	100	100
后备电池(选件)持续时间/d	200	200	200	200	200
编程软件	STEP7-Micro/WIN	STEP7-Micro/WIN	STEP7-Micro/WIN	STEP7-Micro/WIN	STEP7-Micro/WIN
每条二进制语句执行时间/μs	0. 22	0. 22	0. 22	0. 22	0. 22
标识寄存器/计数器/定时器数量	256/256/256	256/256/256	256/256/256	256/256/256	256/256/256
高速计数器	4 个 30kHz	4 个 30kHz	6 个 30kHz	6 个 100kHz	6 个 30kHz
高速脉冲输出	2 个 20kHz	2 个 20kHz	2 个 20kHz	2 个 100kHz	2 个 20kHz
通信接口	1 * RS485	1 * RS485	1 * RS485	2 * RS485	2 * RS485
硬件边沿输入中断	4	4	4	4	4
支持的通信协议	PPI,MPI,自由口	PPI,MPI,自由口,Profibus DP	PPI,MPI,自由口,Profibus DP	PPI,MPI,自由口,Profibus DP	PPI,MPI,自由口,Profibus DP
模拟电位器	1 个 8 位分辨率	1 个 8 位分辨率	2 个 8 位分辨率	2 个 8 位分辨率	2 个 8 位分辨率
实时时钟	外置时钟卡（选件）	外置时钟卡（选件）	内置时钟卡	内置时钟卡	内置时钟卡
外形尺寸($W \times H \times D$)/mm^3	90 × 80 × 62	90 × 80 × 62	120 × 80 × 62	140 × 80 × 62	196 × 80 × 62

2. 软件性能指标

S7-200 系列 PLC 的软件性能指标包括编程功能、编程器件和特性、高速计数脉冲输出功能、通信功能及其他功能等，见表 4-14 ~ 表 4-19，供编程使用时参照。

表 4-14　S7-200 系列 PLC 编程功能一览表

主要参数	CPU221	CPU222	CPU224	CPU224XP	CPU226
用户程序存储容量	4KB	4KB	8KB	12KB	16KB
数据存储器容量	2KB	2KB	8KB	10KB	10KB
编程软件	STEP 7-Micro/WIN				
逻辑指令执行时间	0. 22μs				
标志寄存器数量	256，其中：断电记忆型 112 点（EEPROM 保存）				
定时器数量	256，其中：1ms 定时 4 个，10ms 定时 16 个，100ms 定时 236 个				
计数器数量	256（电池保持）				
中断输入	2 点，分辨率 1ms				
上升/下降沿中断输入	共 4 点				

表 4-15　S7-200 系列 PLC 的编程器件和特性

描述	范　围					存取格式			
	CPU221	CPU222	CPU224	CPU224XP	CPU226	位	字节	字	双字
用户程序区	4096B	4096B	8192B	12288B	16384B				
用户数据区	2048B	2048B	8192B	10240B	10240B				
输入映像寄存器	I0.0~I15.7	I0.0~I15.7	I0.0~I15.7	I0.0~I15.7	I0.0~I15.7	Ix.y	IBx	IWx	IDx
输出映像寄存器	Q0.0~Q15.7	Q0.0~Q15.7	Q0.0~Q15.7	Q0.0~Q15.7	Q0.0~Q15.7	Qx.y	QBx	QWx	QDx
模拟输入(只读)		AIW0~AIW30	AIW0~AIW62	AIW0~AIW62	AIW0~AIW62			AIWx	
模拟输出(只写)	—	AQW0~AQW30	AQW0~AQW62	AQW0~AQW62	AQW0~AQW62			AQWx	
变量存储器	VB0~VB2047	VB0~VB2047	VB0~VB8191	VB0~VB10239	VB0~VB10239	Vx.y	VBx	VWx	VDx
局部存储器 1	LB0~LB63	LB0~LB63	LB0~LB63	LB0~LB63	LB0~LB63	Lx.y	LBx	LWx	LDx
位存储器	M0.0~M31.7	M0.0~M31.7	M0.0~M31.7	M0.0~M31.7	M0.0~M31.7	Mx.y	MBx	MWx	MDx
特殊存储器(只读)	SM0.0~SM179.7 SM0.0~SM29.7	SM0.0~SM299.7 SM0.0~SM29.7	SM0.0~SM549.7 SM0.0~SM29.7	SM0.0~SM549.7 SM0.0~SM29.7	SM0.0~SM549.7 SM0.0~SM29.7	SMx.y	SMBx	SMWx	SMDx
定时器		256(T0~T255)							
保持接通延时 1ms 保持接通延时 10ms 保持接通延时 100ms		T0,T64 T1~T4,T65~T68 T5~T31,T69~T95				Tx		Tx	
接通/断开延时 1ms 接通/断开延时 10ms 接通/断开延时 100ms		T32,T96 T33~T36,T97~T100 T37~T63,T101~T255							
计数器	C0~C255	C0~C255	C0~C255	C0~C255	C0~C255	Cx		Cx	
高速计数器	HC0,HC3~HC5	HC0,HC3~HC5	HC0~HC5	HC0~HC5	HC0~HC5				HCx
顺控继电器	S0.0~S31.7	S0.0~S31.7	S0.0~S31.7	S0.0~S31.7	S0.0~S31.7	Sx.y	SBx	SWx	SDx
累加器	AC0~AC3	AC0~AC3	AC0~AC3	AC0~AC3	AC0~AC3		ACx	ACx	ACx
跳转/标号	0~255	0~255	0~255	0~255	0~255				
调用/子程序	0~63	0~63	0~63	0~127	0~127				
中断程序	0~127	0~127	0~127	0~127	0~127				
中断号	0~12 19~23 27~33	0~12 19~23 27~33	0~23 27~33	0~33	0~33				
PID 回路	0~7	0~7	0~7	0~7	0~7				
通信端口	端口 0	端口 0	端口 0	端口 0.1	端口 0.1				

注：1. LB60~LB63 为 STEP 7Micro/WIN 32 V3.0 或更高版本保留。

2. 若 S7-200 PLC 的性能提高而使参数改变，作为教材，恕不能及时更正，请参考西门子的相关产品手册。

表 4-16　操作数的有效编址范围

寻址方式	CPU221	CPU222	CPU224	CPU224XP	CPU226
位存取（字节，位）	I0.0～15.7　Q0.0～15.7　M0.0～31.7　S0.0～31.7　T0～255　C0～255　L0.0～63.7				
	V0.0～2047.7		V0.0～8191.7	V0.0～10239.7	
	SM0.0～165.7	SM0.0～299.7	SM0.0～549.7		
字节存取	IB0～15　QB0～15　MB0～31　SB0～31　LB0～63　AC0～3　KB（常数）				
	VB0～2047		VB0～8191	VB0～10239	
	SMB0～165	SMB0～299	SMB0～549		
字存取	IW0～14　QW0～14　MW0～30　SW0～30　T0～255　C0～255　LW0～62　AC0～3　KW（常数）				
	VW0～2046		VW0～8190	VW0～10238	
	SMW0～164	SMW0～298	SMW0～548		
	AIW0～30　AQW0～30		AIW0～62　AQW0～62		
双字存取	ID0～12　QD0～12　MD0～28　SD0～28　LD0～60　AC0～3　HC0～5　KD（常数）				
	VD0～2044		V0～8188	VD0～10236	
	SMD0～162	SMD0～296	SMD0～546		

表 4-17　S7-200 系列 PLC 高速计数脉冲输出功能

项　　目		功　　能				
		CPU221	CPU222	CPU224	CPU224XP	CPU226
内置高速计数功能	总计	4 点	4 点	6 点	6 点	6 点
	单相	4 点，30kHz	4 点，30kHz	6 点，30kHz	2 点，200kHz 4 点，30kHz	6 点，30kHz
	两相	2 点，20kHz	2 点，20kHz	4 点，20kHz	3 点，20kHz 1 点，100kHz	4 点，20kHz
高速脉冲输出		2 点，20kHz	2 点，20kHz	2 点，20kHz	2 点，100kHz	2 点，20kHz
高速脉冲捕捉输入		6 点	8 点	14 点	14 点	24 点

表 4-18　S7-200 系列 PLC 通信功能

项　　目		功　　能				
		CPU221	CPU222	CPU224	CPU224XP	CPU226
接口类型		RS-485 串行通信接口				
接口数量		1			2	
波特率	PPI、DP/T	9.6、19.2、187.5kbit/s				
	无协议通信	1.2～15.2kbit/s				
通信距离	不使用中继器	50m				
	使用中继器	与波特率有关，187.5kbit/s 时为 1000m				
PLC 网络连接方式		PPI、MPI、PROFIBUS-DP、Ethernet 网（需要网络模块支持）				

表 4-19　S7-200 系列 PLC 其他功能

项　　目	功　　能
时钟与计时功能	内置实时钟，可进行时间设定、比较与 PLC 运行时间计时等
恒定扫描功能	利用参数固定 PLC 扫描周期
输入滤波时间调整	可通过程序改变输入滤波时间
注释功能	可对编程元件进行注释
在线编程功能	可在 PLC 运行状态下，改变 PLC 程序
程序的密码保护功能	可用 8 位密码保护用户程序
数据记录与归档功能	可以按照时间记录过程数据，并且永久性保存
配方功能	可以利用存储器卡，将 STEP 7-Micro/WIN 编程软件设定的组态信息写入 PLC
PID 自动整定功能	PLC 可以根据响应速度，自动进行调节器参数的优化，并选择最佳调节器参数

4.2.3　S7-200 系列 PLC 的 13 大编程软元（器）件——数据存储区

S7-200 系列 PLC 的编程软元（器）件——数据存储区的总体框图如图 4-46 所示，可分为 13 个部分，它们的功能各不相同。编程软元（器）件的类型和元件号由字母和数字表示，其中 I、Q、V、M、SM、L、S 均可以按位（Bit）、按字节（Byte）、按字（Word）、按双字（Double Word）来编址与存取，如图 4-47 所示。

图 4-46　S7-200 系列 PLC 的 13 大编程元（器）件

图 4-47　位、字节、字、双字的编址

1. 输入映像寄存器（I）（输入继电器）

PLC 的输入端子是从外部接收输入信号的窗口，每一个输入端子与输入映像寄存器的相应位对应。输入点的状态，即在每次扫描周期开始（或结束），CPU 对输入点进行采样，并

将采样值存于输入映像寄存器中，作为程序处理时输入点状态的依据。输入映像寄存器的状态只能由外部输入信号驱动，而不能在内部由程序指令来改变。输入映像寄存器的数据可以是位（1bit）、字节（8bit）、字（16bit）或者双字（32bit）。其地址格式为

位地址：I［字节地址］.［位地址］，如 I0.1。

字节、字、双字地址：I［数据长度］［起始字节地址］，如 IB15、IW14、ID12。

CPU226 模块输入映像寄存器的有效地址范围为 I（0.0 ~ 15.7），共 128 点；IB（0 ~ 15），共 16B；IW（0 ~ 14），共 8 个字；ID（0 ~ 12），共 4 个双字。

2. 输出映像寄存器（Q）（输出继电器）

PLC 的输出端子是 CPU 向外部负载发出控制命令的窗口，每一个输出端子与输出映像寄存器的相应位对应。CPU 将输出判断结果存放在输出映像寄存器中，在每次扫描周期的结尾，CPU 以批处理方式将输出映像寄存器的数值复制到相应的输出端子上，通过输出模块将输出信号传送给外部负载。输出映像寄存器的数据可以是位（1bit）、字节（8bit）、字（16bit）或者双字（32bit）。其地址格式为：

位地址：Q［字节地址］.［位地址］，如 Q0.1。

字节、字、双字地址：I［数据长度］［起始字节地址］，如 QB15、QW14、QD12。

CPU226 模块输出映像寄存器的有效地址范围为 Q（0.0 ~ 15.7），共 128 点；QB（0 ~ 15），共 16B；QW（0 ~ 14），共 8 个字；QD（0 ~ 12），共 4 个双字。

应当指出，模拟量输入值为只读数据。

I/O 映像区实际上就是外部输入/输出设备状态的映像区，PLC 通过 I/O 映像区的各个位与外部物理设备建立联系。I/O 映像区每个位都可以映像输入/输出单元上的每个端子状态。

梯形图中的输入继电器、输出继电器的状态对应于输入/输出映像寄存器相应位的状态。I/O 映像区的建立使 PLC 工作时只和内存地址单元内所存的状态数据发生关系，而系统输出也只是给内存某一地址单元设定一个状态数据，用户程序存取映像寄存器中的数据要比存取输入、输出物理点快得多。这样不仅加快了程序执行速度，而且使控制系统在程序执行期间完全与外界隔开，从而提高了系统的抗干扰能力。此外，外部输入点的存取只能按位进行，而 I/O 映像寄存器的存取可按位、按字节、按字和按双字进行，因而使操作更快更灵活。

3. 内部标志位存储器（M）（中间继电器或通用辅助继电器）

内部标志位存储器也称内部线圈，它模拟继电器控制系统中的中间继电器，用于存放中间操作状态或存储其他相关数据。内部标志位存储器多以位（1bit）为单位使用，但也可以字节（8bit）、字（16bit）或者双字（32bit）为单位使用，其地址格式为

位地址：M［字节地址］.［位地址］，如 M31.7。

字节、字、双字地址：M［数据长度］［起始字节地址］，如 MB31、MW30、MD28。

CPU226 模块内部标志位存储器的有效地址范围为 M（0.0 ~ 31.7），共 256 点；MB（0 ~ 31），共 32B；MW（0 ~ 30），共 16 个字；MD（0 ~ 28），共 8 个双字。

4. 变量存储器（V）

变量存储器存放全局变量，程序执行过程中控制逻辑操作的中间结果或其他相关的数据。变量存储器是全局有效，全局有效是指同一个存储器可以在任一程序分区（主程序、子程序、中断程序）被访问。其地址格式为

位地址：V［字节地址］.［位地址］，如 V10.2。

字节、字、双字地址：V［数据长度］　［起始字节地址］，如 VB200、VW1000、VD5116。

CPU226 模块变量存储器的有效地址范围为 V（0.0～5119.7），共 40960 点；VB（0～5119），共 5120B；VW（0～5118），共 2560 个字；VD（0～5116），共 1280 个双字。

应当指出，变量存储器存储的数据可以是输入，也可以是输出。

5. 局部存储器（L）

局部存储器用来存放局部变量，局部存储器只是局部有效，局部有效是指某一局部存储器只能在某一程序分区（主程序、子程序、中断程序）中被使用。S7-200 系列 PLC 只提供 64 个字节局部存储器（其中 LB60～LB63 为 STEP7-Micro/WIN32V3.0 及其以后版本软件所保留），局部存储器可用做暂时存储器或为子程序传递参数。

CPU 可以按位、按字节、按字和按双字访问局部存储器，可以把局部存储器作为间接寻址的指针，但是不能作为间接寻址的存储器。其地址格式为

位地址：L［字节地址］.［位地址］，如 L53.5。

字节、字、双字地址：L［数据长度］［起始字节地址］，如 LB20、LW32、LD56。

CPU226 模块局部存储器的有效地址范围为 L（0.0～63.7），共 512 点；LB（0～63），共 64B；LW（0～62），共 32 个字；LD（0～60），共 16 个双字。

6. 顺序控制继电器存储器（S）（顺序控制继电器）

顺序控制继电器存储器用于顺序控制（或步进控制），顺序控制继电器指令基于顺序功能图（SFC）的编程方式，将控制程序的逻辑分段，从而实现顺序控制。其地址格式为

位地址：S［字节地址］.［位地址］，如 S31.1。

字节、字、双字地址：S［数据长度］［起始字节地址］，如 SB31、SW30、SD28。

CPU226 模块顺序控制继电器存储器的有效地址范围为 S（0.0～31.7），共 256 点；SB（0～31），共 32B；SW（0～30），共 16 个字；SD（0～28），共 8 个双字。

7. 特殊标志位存储器（SM）（特殊标志继电器）

特殊标志位存储器即特殊内部线圈，它是用户程序与系统程序之间的界面，为用户提供一些特殊的控制功能及系统信息，用户对操作的一些特殊要求也通过特殊标志位存储器通知系统。特殊标志位存储器区域分为只读区域（SM0～SM29）和可读写区域。在只读区的特殊标志位，用户只能使用其触点，例如，SM0.0 用于 PLC 的 RUN 监控，PLC 在 RUN 方式时 SM0.0 恒为 1；SM0.1 在程序运行的第一个扫瞄周期闭合，常用做初始化脉冲信号；SM0.4 能提供周期为 1min，占空比为 50% 的时钟脉冲；SM0.6 为扫瞄时钟，本次扫瞄为 1，下次扫描时置 0 等。

可读写特殊标志位用于特殊功能控制，例如，用于自由通信口设置的 SM30；用于定时中断间隔时间设置的 SM34/ SM35；用于高速计数器设置的 SM36～SM65；用于脉冲串输出控制的 SM66～SM85。

尽管特殊标志位存储器基于位存取，但也可以按字节、按字和按双字来存取数据，特殊标志位存储器的地址格式为

位地址：SM［字节地址］.［位地址］，如 SM0.1

字节、字、双字地址：SM［数据长度］　［起始字节地址］，如 SMB196、SMW200、

SMD546

CPU226 模块特殊标志位存储器的有效地址范围为 SM（0.0～549.7），共 4400 点；SB（0～549），共 550B；SW（0～548），共 275 个字；SD（0～546），共 136 个双字。

表 4-20 和表 4-21 分别为 SMB0 的各个位功能描述和 SM 其他状态字功能表。

表 4-20　SMB0 的各个位功能描述

SMB0 的各个位	功　能　描　述
SM0.0	常闭触点，在程序运行时一直保持闭合状态
SM0.1	该位在程序运行的第一个扫描周期闭合，常用于调用初始化子程序
SM0.2	若永久保持的数据丢失，则该位在程序运行的第一个扫描周期闭合。可用于存储器错误标志位
SM0.3	开机后进入 RUN 方式，该位将闭合一个扫描周期。可用于起动操作前为设备提供预热时间
SM0.4	该位为一个 1min 时钟脉冲，30s 闭合，30s 断开
SM0.5	该位为一个 1s 时钟脉冲，0.5s 闭合，0.5s 断开
SM0.6	该位为扫描时钟，本次扫描闭合，下次扫描断开，不断循环
SM0.7	该位指示 CPU 工作方式开关的位置（断开为 TERM 位置，闭合为 RUN 位置）。利用该位状态。当开关在 RUN 位置时，可使自由口通信方式有效，开关切换至 TERM 位置时，同编程设备的正常通信有效

表 4-21　SM 其他状态字功能表

状态字	功　能　描　述
SMB1	包含了各种潜在的错误提示，可在执行某些指令或执行出错时由系统自动对相应位进行置位或复位
SMB2	在自由接口通信时，自由接口接收字符的缓冲区
SMB3	在自由接口通信时，发现接收到的字符中有奇偶校验错误时，可将 SM3.0 置位
SMB4	标志中断队列是否溢出或通信接口使用状态
SMB5	标志 I/O 系统错误
SMB6	CPU 模块识别（ID）寄存器
SMB7	系统保留
SMB8～SMB21	I/O 模块识别和错误寄存器，按字节对形式（相邻两个字节）存储扩展模块 0～6 的模块类型、I/O 类型、I/O 点数和测得的各模块 I/O 错误
SMW22～SMW26	记录系统扫描时间
SMB28～SMB29	存储 CPU 模块自带的模拟电位器所对应的数字量
SMB30 和 SMB130	SMB30 为自由接口通信时，自由接口 0 的通信方式控制字节；SMB130 为自由接口通信时，自由接口 1 的通信方式控制字节，两字节可读可写
SMB31～SMB32	永久存储器（EEPROM）写控制
SMB34～SMB35	用于存储定时中断的时间间隔
SMB36～SMB65	高速计数器 HSC0、HSC1、HSC2 的监视及控制寄存器
SMB66～SMB85	高速脉冲输出（PTO/PWM）的监视及控制寄存器

（续）

状态字	功 能 描 述
SMB86 ~ SMB94 SMB186 ~ SMB194	自由接口通信时，接口 0 或接口 1 接收信息状态寄存器
SMB98 ~ SMB99	标志扩展模块总线错误号
SMB131 ~ SMB165	高速计数器 HSC3、HSC4、HSC5 的监视及控制寄存器
SMB166 ~ SMB194	高速脉冲输出（PTO）包络定义表
SMB200 ~ SMB299	预留给智能扩展模块，保存其状态信息

其自由端口控制寄存器标志，见表 4-22。

表 4-22　自由端口控制寄存器标志

位号	7　6	5	4　3　2	1　0
标志符	PP	d	bbb	mm
标志	PP = 00：不校验 PP = 01：奇校验 PP = 10：不校验 PP = 11：偶校验	d = 0 每字符 8 位数据 d = 1 每字符 7 位数据	bbb = 000：38400bit/s bbb = 001：19200bit/s bbb = 010：9600bit/s bbb = 011：4800bit/s bbb = 100：2400bit/s bbb = 101：1200bit/s bbb = 110：600bit/s bbb = 111：300bit/s	mm = 00 PPI/从站模式 mm = 01 自由口协议 mm = 10 PPI/主站模式 mm = 11 保留

8. 定时器存储器（T）（定时器）

PLC 在工作中少不了需要计时，定时器就是模拟继电器控制系统的时间继电器，累计时间增量，实现 PLC 计时功能的编程元件。定时器的工作过程与时间继电器基本相同，提前置入时间预定值，当定时器的输入条件满足时开始计时，当前值从 0 开始按一定的时间单位（时基）增加；当定时器的当前值达到预定值时定时器发生动作，发出中断请求，PLC 响应，同时发出相应的动作，即常开触点闭合，常闭触点断开；利用定时器的输入与输出触点可以得到控制所需要的延时时间。通常定时器的设定值由程序赋予，需要时也可在外部设定。S7-200 定时器的分辨率（时基或时基增量）分为 1ms、10ms、100ms3 种。

（1）S7-200 定时器的 3 种类型

1）接通延时定时器。功能是定时器计时到时，定时器常开触点由 OFF 转入 ON。

2）断开延时定时器。功能是定时器计时到时，定时器常开触点由 ON 转入 OFF。

3）记忆接通延时定时器。功能是定时器累计时间到时，定时器常开触点由 OFF 转入 ON。

（2）定时器的 3 种相关变量

1）定时器的时间设定值（PT），定时器的设定时间等于 PT 值乘以时基增量。

2）定时器的当前时间值（SV），定时器的计时时间等于 SV 值乘以时基增量。

3）定时器的输出状态（0 或者 1）。

（3）定时器的编号

S7-200 有 256 个定时器 T，其编号的有效范围为 T（0～255）。

定时器存储器地址表示格式不仅是定时器的标号，它还包括两方面的变量信息：定时器位和定时器当前值；至于指令中所存储的是当前值还是定时器位，取决于所用指令：带位操作的指令存取定时器位，带字操作的指令存取的是定时器的当前值。例如：

```
LD      I0.1
TON     T35，20
LD      T35          //访问定时器位
=       Q0.2
LDI >   T35，+300    //访问定时器当前值，将当前值与 300 进行比较
=       Q0.3
```

9. 计数器存储器（C）（计数器）

PLC 在工作中有时不仅需要计时，还需要计数功能。计数器就是实现 PLC 计数功能的器件，它累计其计数输入端脉冲电平由低到高的次数。它有三种类型：增计数、减计数、增减计数。通常计数器的设定值由程序赋予，需要时也可在外部设定。

（1）计数器的三种类型

1）增计数器。功能是每收到一个计数脉冲，计数器的计数值加 1。当计数值等于或大于设定值时，计数器状态由 OFF 转变为 ON。

2）减计数器。功能是每收到一个计数脉冲，计数器的计数值减 1。当计数值由设定值减到 0 时，计数器状态由 OFF 转变为 ON。

3）增减计数器。功能是既可以增计数，也可以减计数。当增计数时，每收到一个计数脉冲，计数器的计数值加 1。当计数值等于或大于设定值时，计数器状态由 OFF 转变为 ON。当减计数时，每收到一个计数脉冲，计数器的计数值减 1，当计数值小于设定值时，计数器状态由 ON 转变为 OFF。

（2）计数器的三种相关变量

1）计数器的设定值（PV）。

2）计数器的当前值（SV）。

3）计数器的输出状态（0 或者 1）。

（3）计数器的编号

S7-200 有 256 个计数器 C，其编号的有效范围为 C（0～255）。

计数器存储器地址表示格式不仅是计数器的标号，它也包括两方面的变量信息：计数器位和计数器当前值。计数器位：表示计数器是否发生动作的状态，当计数器的当前值达到预设值时，该位被置为 1。计数器当前值：存储计数器当前所累计的脉冲个数，它用 16 位符号整数表示。指令中所存储的是当前值还是计数器位，取决于所用指令：带位操作的指令存取计数器位，带字操作的指令存取的是计数器的当前值。

10. 模拟量输入映像寄存器（AI）

模拟量输入模块将外部输入的模拟信号的模拟量（如温度、压力）转换成 1 个字长（16bit）的数字量，存放在模拟量输入映像寄存器中，供 CPU 运算处理，模拟量输入映像寄存器中的值为只读值。

模拟量输入映像寄存器的地址格式为：AIW［起始字节地址］，如 AIW60。其地址必须使用偶数字节地址来表示，如 AIW0、AIW2、AIW4 等。

CPU226 模块特殊标志位存储器的有效地址范围为 AIW（0～62），共 32 个字，即共有 32 路模拟量输入。

11. 模拟量输出映像寄存器（AQ）

CPU 运算的相关结果存放在模拟量输出映像寄存器中，供 D/A 转换器将 1 个字长（16bit）的数字量按比例转换成电流或电压等模拟量，以驱动外部模拟量控制的设备，模拟量输出映像寄存器中的值为只写值，用户不能读取模拟量输出值。

模拟量输出映像寄存器的地址格式为：AQW［起始字节地址］，如 AQW60。其地址必须使用偶数字节地址来表示，如 AQW0、AQW2、AQW4 等。

CPU226 模块特殊标志位存储器的有效地址范围为 AQM（0～62），共 32 个字，总共有 32 路模拟量输出。

12. 累加器（AC）

累加器是可以像存储器那样进行读/写的器件。例如，可以用累加器向子程序传递参数，或从子程序返回参数，以及用来存储计算的中间数据。

S7-200 CPU 提供了 4 个 32 位累加器，其地址格式为：AC［累加器号］，为 AC0～AC3。

CPU 可以按字节、按字、按双字存取累加器中的数值。由指令标识符决定存取数据的长度。例如，使用 MOBV 指令以字节形式读/写累加器中的数据时，只能读/写累加器 32 位数据中的低 8 位数据；使用 DECW 指令以字的形式读/写累加器中的数据时，只能读/写累加器 32 位数据中的低 16 位数据。只有采取双字的形式读/写累加器中的数据时，才能一次读/写累加器的全部 32 位数据。

因为 PLC 的运算功能总离不开累加器，因此不能像占用其他存储器那样随便占用累加器。

13. 高速计数器（HC）

高速计数器用来累计高速脉冲信号，当高速脉冲信号的频率比 CPU 扫描速率更快时，必须要用高速计数器来计数。高速计数器的当前值寄存器为 32 位，读取高速计数器当前值应以双字（32 位）来寻址，高速计数器的当前值为只读值。

S7-200 各个高速计数器不仅计数频率高达 30kHz，而且有 12 种工作模式。

高速计数器的地址格式为：HS［高速计数器号］，如 HSC1。

CPU221 和 CPU222 有 4 个高速计数器（HSC0、HSC3、HSC4、HSC5）；CPU224 和 CPU226 有 6 个高速计数器，其有效地址范围为 HC（0～5）。

概括之，这 13 大编程器件名称及其寻址格式，如表 4-23 所示。

表 4-23　13 大编程器件的名称及寻址格式

元件符号(名称)	所在数据区域	位寻址格式	其他寻址格式
I(输入继电器)	数字量输入映像位区	Ax. y	ATx
Q(输出继电器)	数字量输入映像位区	Ax. y	ATx
M(通用辅助继电器)	内部存储器标志位区	Ax. y	ATx
SM(特殊标志继电器)	特殊存储器标志位区	Ax. y	ATx

（续）

元件符号(名称)	所在数据区域	位寻址格式	其他寻址格式
S(顺序控制继电器)	顺序控制继电器存储器区	Ax. y	ATx
V(变量存储器)	变量存储器区	Ax. y	ATx
L(局部变量存储器)	局部存储器区	Ax. y	ATx
T(定时器)	定时器存储器区	Ax	Ax(仅字)
C(计数器)	计数器存储器区	Ax	Ax(仅字)
AI(模拟量输入映像寄存器)	模拟量输入存储器区	无	Ax(仅字)
AQ(模拟量输出映像寄存器)	模拟量输出存储器区	无	Ax(仅字)
AC(累加器)	累加器区	无	Ax
HC(高速计数器)	高速计数器区	无	Ax(仅双字)

注：表中 A 表示器件名称（如 I、Q、M 等），T 表示数据类型（如 B、W、D，若为位寻址无此项），x 表示字节地址，y 表示字节内的位地址。按位寻址的格式为：Ax. y，必须指定编程器件名称、字节地址和位号。

S7-200 PLC 的 13 大编程器件和特性，详见表 4-15；其操作数的有效编址范围，详见表 4-16。这 13 大类编程软元（器）件既是 PLC 的硬件资源，又是学懂和用好 PLC，进行软件编程的根基，必须下大气力学会、掌握、熟记，并能灵活自如地应用。

4. 2. 4　S7-200 系列 PLC 的基本指令

S7-200 系列 PLC 的指令丰富，软件功能强。它可以使用 56 条基本的逻辑处理指令、27 条数字运算指令、11 条定时器/计数器指令、4 条实时时钟指令、84 条其他应用指令，总计指令数多达 182 条。但限于本书篇幅，这里只介绍电气控制中最常用的基本指令，有关功能指令及特殊功能指令等仅给出其概述列表，不做详尽介绍，使用时再查阅相关使用手册进行详尽开发应用。

1. S7-200 系列 PLC 的基本逻辑指令

（1）逻辑取和线圈驱动指令（3 条）

逻辑取和线圈驱动指令为 LD、LDN 和 = 。

LD（Load）：“取” 指令。用于网络块逻辑运算开始的常开触点与左母线的连接。

LDN（Load Not）：“取反” 指令。用于网络块逻辑运算开始的常闭触点与左母线的连接。

=（out）：线圈驱动指令。LD、LDN 和 = 三条指令的用法，如图 4-48 所示。

使用说明：

①LD、LDN 指令不仅是用于网络块逻辑块开始时与左母线相连的常开和常闭触点，在分支电路块的开始也要使用 LD、LDN 指令（与后面要讲解的 ALD、OLD 指令配合使用）。

②并联的 “ = ” 指令可连续使用任意次。

③在同一程序中不能使用双线圈输出，即同一个元件在同一程序中只能使用一次 “ = ” 指令。

④LD、LDN、 = 指令的操作数为：I、Q、M、SM、T、C、V、S 和 L。T 和 C 也作为输出线圈，但在 S7-200 系列 PLC 中输出时不是以使用 “ = ” 指令形式出现（见定时器和计数器指令）。

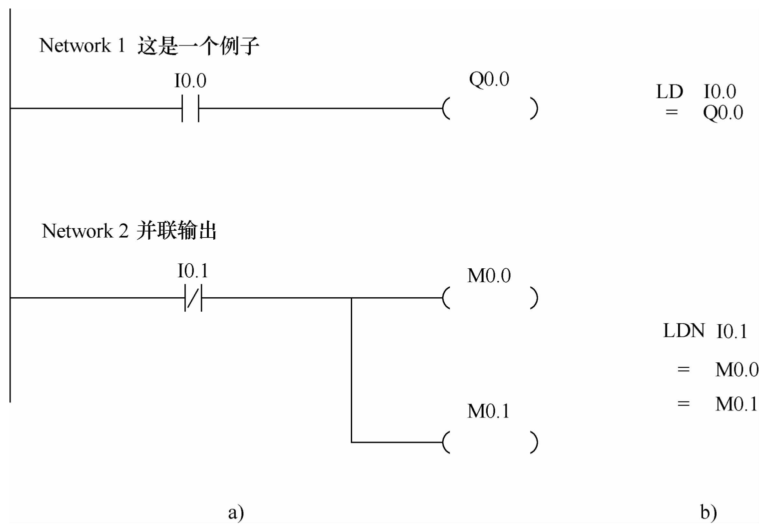


图 4-48　LD、LDN 和 = 三条指令的用法
a）梯形图　b）助记符

（2）触点串联指令（2 条）

触点串联指令为 A、AN。

A（AND）："与"指令。用于单个常开触点的串联连接。

AN（And Not）："与反"指令。用于单个常闭触点的的串联连接。

A、AN 两条指令的用法，如图 4-49 所示。

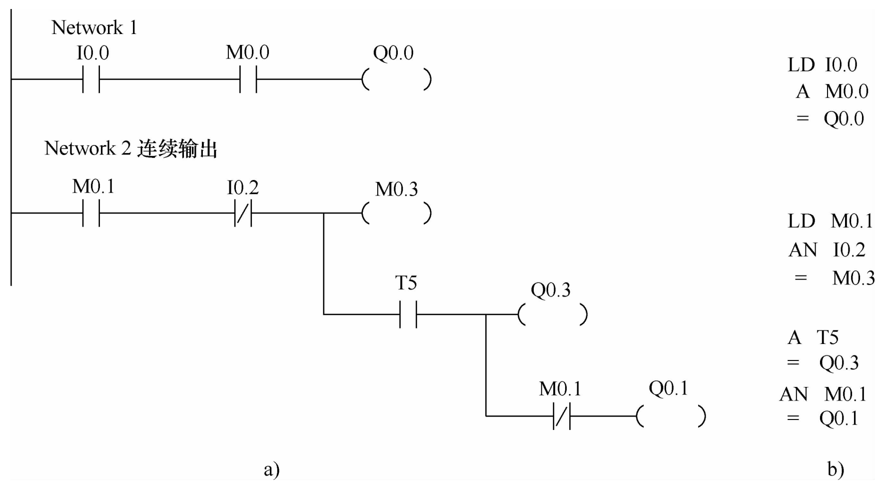


图 4-49　A、AN 两条指令的用法
a）梯形图　b）助记符

使用说明：

①A、AN 是单个触点串联连接指令，可连续使用。S7-200 PLC 的编程软件中规定的串联触点使用上限为 11 个。

②图 4-49 所示的连续输出电路，可以反复使用“＝”指令，但次序必须正确，不然就不能连续使用“＝”指令编程了，如图 4-50 所示。

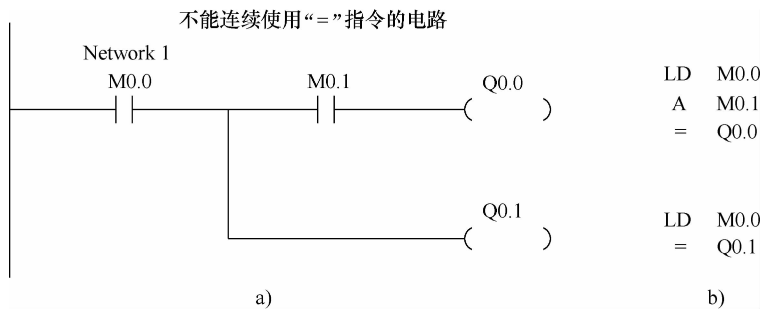


图 4-50　不能连续使用“＝”指令的例子

a）梯形图　b）助记符

③A、AN 指令的操作数为：I、Q、M、SM、T、C、V、S 和 L。

（3）触点并联指令（2 条）

触点并联指令为 O、ON。

O（OR）：“或”指令。用于单个常开触点的并联连接。

ON（Or Not）：“或反”指令。用于单个常闭触点的的并联连接。

O、ON 两条指令的用法，如图 4-51 所示。

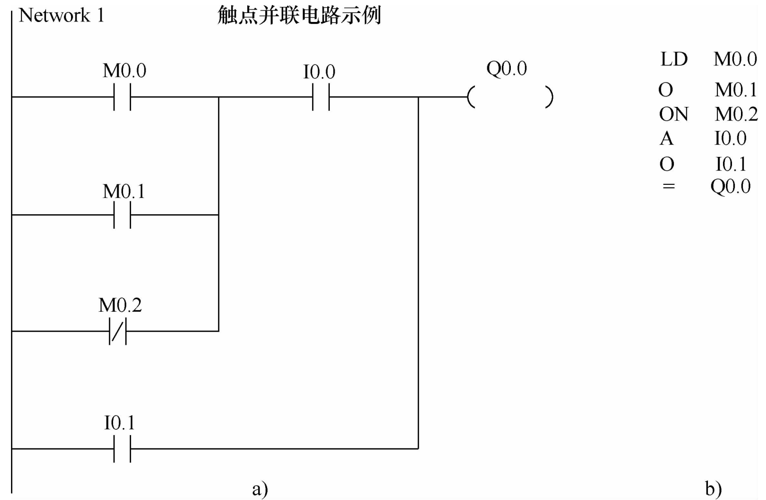


图 4-51　O、ON 两条指令的用法

a）梯形图　b）助记符

使用说明：

①单个触点的 O、ON 指令可连续使用。

②O、ON 指令应从上个相并联接点的左端开始，到上个相并联接点的右端结束。

③O、ON 指令的操作数为：I、Q、M、SM、T、C、V、S 和 L。

（4）置位、复位指令（2 条）

置位（Set）/复位（Reset）指令的 LAD 和 STL 形式以及功能如表 4-24 所示。

表 4-24　置位/复位指令功能表

指令名称	LAD	STL	功　能
置位指令 Set	bit —(S) N	S,bit,N	从 bit 开始的 N 个元件置 1 并保持
复位指令 Reset	bit —(R) N	R,bit,N	从 bit 开始的 N 个元件置 0 并保持

置位 S（Set）/复位 R（Reset）指令的用法，如图 4-52 所示。

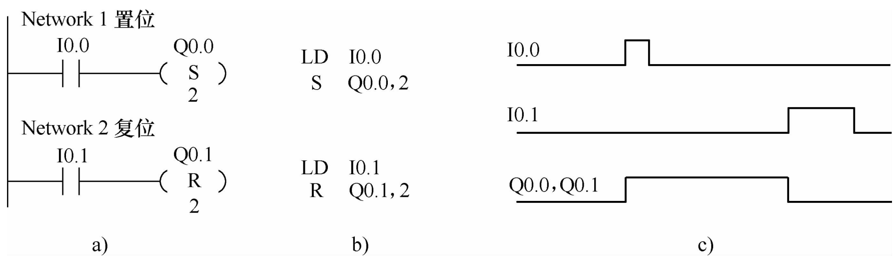


图 4-52　S/R 指令的用法

a）梯形图　b）助记符　c）时序图

使用说明：

①对位元件来说一旦被置位，就保持在通电状态，除非对它复位；而一旦复位就保持在断电状态，除非再对它置位。

②S/R 指令可以互换次序使用，但由于 PLC 采用扫描工作方式，所以写在后面的指令具有优先权（即后面的一条指令会对前面的指令进行覆盖）。如图 4-52 中，只要 I0.1 为 1（不管 I0.0 是什么），则 Q0.0、Q0.1 就处于复位状态而为 0。

③如果对计数器和定时器复位，则计数器和定时器的当前值被清零。

④N 的常数范围为 1～244，N 也可为：VB、IB、QB、MB、SMB、SB、LB、AC、常数、* VD、* AC 和 * LD。一般情况下使用常数。

⑤S/R 指令的操作数为：I、Q、M、SM、T、C、V、S 和 L。

（5）立即指令（9 条）

立即指令是为了提高 PLC 对输入输出的响应速度而设置的，它不受 PLC 循环扫描工作方式的影响，允许对输入和输出点进行快速直接存取。当用立即指令读取输入点的状态时，对 I 进行操作，相应的输入映像寄存器中的值并不更新；当用立即指令访问输出点时，对 Q 进行操作，新值同时写到 PLC 的物理输出点和相应的输出映像寄存器。

立即指令的名称和使用说明，见表 4-25。

表 4-25　立即指令的名称和使用

指令名称	STL	LAD	使用说明
立即取	LDI　bit	bit ─┤I├─ ；bit ─┤/I├─	bit 只能为 I
立即取反	LDNI　bit		
立即或	OI　bit		
立即或反	ONI　bit		
立即与	AI　bit		
立即与反	ANI　bit		
立即输出	=I　bit	bit ─(I)	bit 只能为 Q
立即置位	SI　bit,N	bit ─(I) N	1. bit 只能为 Q 2. N 的范围:1 ~ 128 3. N 的操作数同 S/R 指令
立即复位	RI　bit,N	bit ─(I) N	

立即指令的用法，如图 4-53 所示。

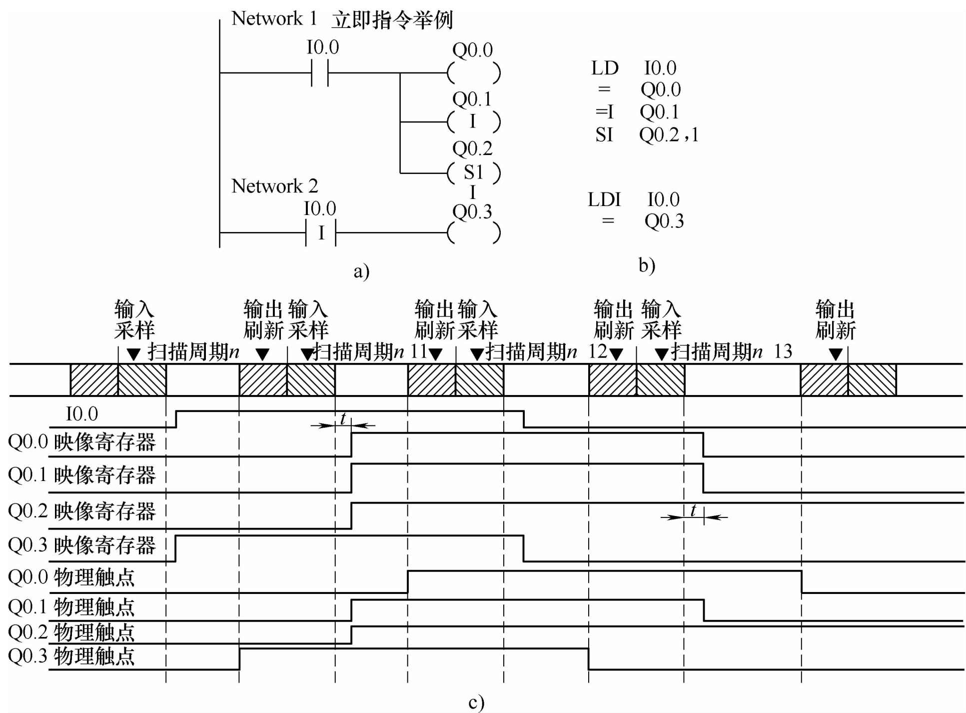


图 4-53　立即指令的用法

a）梯形图　b）助记符　c）时序图

在理解的过程中，一定要注意哪些地方使用了立即指令，哪些地方没有使用立即指令，要理解输出物理触点和相应的输出映像寄存器是不一样的概念，并且要结合 PLC 工作方式的原理来看时序图。图 4-53 中，t 为执行到输出点处程序所用的时间，Q0.0、Q0.1、Q0.2 的输入逻辑是 I0.0 的普通常开触点。Q0.0 为普通输出，在程序执行到它时，它的映像寄存器的状态会随着本扫描周期采集到的 I0.0 状态的改变而改变，而它的物理触点要等到本扫描周期的输出刷新阶段才改变；Q0.1、Q0.2 为立即输出，在程序执行到它们时，它们的物理触点和映像寄存器同时改变；而对 Q0.3 来说，它的输入逻辑是 I0.0 的立即触点，所以在程序执行到它时，Q0.3 的映像寄存器状态会随着 I0.0 即时状态的改变而立即改变，而它的物理触点要等到本扫描周期的输出刷新阶段才改变。

归纳总结上述单接点指令（6 条）、立即接点指令（6 条）、输出/置位/复位（3 条）和立即输出/立即置位/立即复位（3 条）指令，一共 18 条。这是 PLC 使用率最高的一些基本指令，现列表于表 4-26 中，供读者对比分析记忆，灵活选择使用。

表 4-26　最常用的 18 条单接点和线圈指令

类型	梯形图程序	语句表程序	指令功能
常开触点	bit —| |—	LD　bit A　bit O　bit	LD：装载常开触点 A：串联常开触点 O：并联常开触点
常闭触点	bit —|/|—	LDN　bit AN　bit ON　bit	LDN：装载常闭触点 AN：串联常闭触点 ON：并联常闭触点
线圈	bit —(　)	=　bit	=：输出指令
常开触点	bit —|I|—	LDI　bit AI　bit OI　bit	LDI：装载常开立即触点 AI：串联常开立即触点 OI：并联常开立即触点
常闭触点	bit —|/I|—	LDNI　bit ANI　bit ONI　bit	LDNI：装载常闭立即触点 ANI：串联常闭立即触点 ONI：并联常闭立即触点
线圈	bit —(I)	=I　bit	=I：立即输出指令
置位	—(bit S n)	S　bit，n	从 bit 开始的 n 个位被置位（为 1）
复位	—(bit R n)	R　bit，n	从 bit 开始的 n 个位被复位（为 0）
立即置位	—(bit SI n)	SI　bit，n	从 bit 开始的 n 个位被立即置位

（续）

类型	梯形图程序	语句表程序	指令功能
立即复位	——(bit RI n)	RI　bit，n	从 bit 开始的 n 个位被立即复位

（6）逻辑堆栈操作指令（6 条）

堆栈是一组能够存储和取出数据的暂存单元，堆栈中的数据一般按“先进后出”的原则存取。S7-200 使用一个 9 层堆栈来处理所有逻辑操作，它和计算机中的堆栈结构相同，栈顶用来存储逻辑运算的结果，下面的 8 位用来存储中间运算结果（如图 4-54 所示）。每一次进行入栈操作，新值放入栈顶，栈底值丢失；每一次进行出栈操作，栈顶值弹出，栈底值补进随机数。表 4-27 为逻辑堆栈结构。

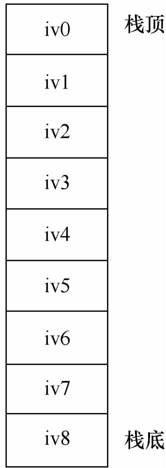


图 4-54　S7-200 堆栈示意图

表 4-27　逻辑堆栈结构

名称	堆栈结构	说　明
STACK0	S0	第一层堆栈(栈顶)
STACK1	S1	第二层堆栈
STACK2	S2	第三层堆栈
STACK3	S3	第四层堆栈
STACK4	S4	第五层堆栈
STACK5	S5	第六层堆栈
STACK6	S6	第七层堆栈
STACK7	S7	第八层堆栈
STACK8	S8	第九层堆栈

在简单梯形图逻辑电路图触点的串、并联操作中，执行 LD 指令时，将指令指定的位地址中的二进制数据装载入栈项。执行 A（与）指令时，将指令指定的位地址中的二进制数和栈顶中的二进制数相“与”，结果存入栈顶。执行 O 指令时，将指令指定的位地址中的二进制数和栈顶中的二进制数相“或”，结果存入栈顶。在语句表指令系统中，其触点的串、并联关系可以用简单的与、或、非逻辑关系描述。

但在较复杂梯形图的逻辑电路图中，梯形图无特殊指令，绘制非常简单，但触点的串、并联关系不能全部用简单的与、或、非逻辑关系描述。语句表指令系统中设计了电路块的与操作、电路块的或操作指令、逻辑入栈指令 LPS、逻辑读栈指令 LRD（电路块指以 LD 为起始的触点串、并联网络）、逻辑出栈指令 LPP、装载堆栈 LDS n 等解决此类问题。

西门子公司的系统手册中把 ALD、OLD、LPS、LRD、LPP 和 LDSn 等指令都纳入堆栈指令，见表 4-28。

1）电路块连接指令（2 条）

①串联电路块的并联连接指令

表 4-28　S7-200 的堆栈指令

指令类型	语句表程序	指　令　功　能
栈装载“与”	ALD	电路块的“与”操作，用于串联连接多个并联电路块
栈装载“或”	OLD	电路块的“或”操作，用于并联连接多个串联电路块
逻辑入栈指令	LPS	该指令复制栈顶值并将其压入堆栈的下一层，栈中原来的数据依次下移一层，栈底值丢失
逻辑读栈指令	LRD	该指令将堆栈中第 2 层的数据复制到栈顶，2 ~ 9 层数据不变，原栈顶值消失
逻辑出栈指令	LPP	该指令使栈中各层的数据向上移动一层，第 2 层的数据成为新的栈顶值，栈顶原来的数据从栈内消失
装载堆栈指令	LDSn	该指令将堆栈中第 n 层的值复制到栈顶，而栈底值丢失，该指令应用较少

两个以上触点串联形成的支路叫串联电路块（或称串联电路分支）。

串联电路块（分支）的并联连接指令为 OLD。其指令无操作数。

OLD（OrLoad）：或块指令。用于串联电路块（分支）的并联连接。

OLD 指令的用法，如图 4-55 所示。

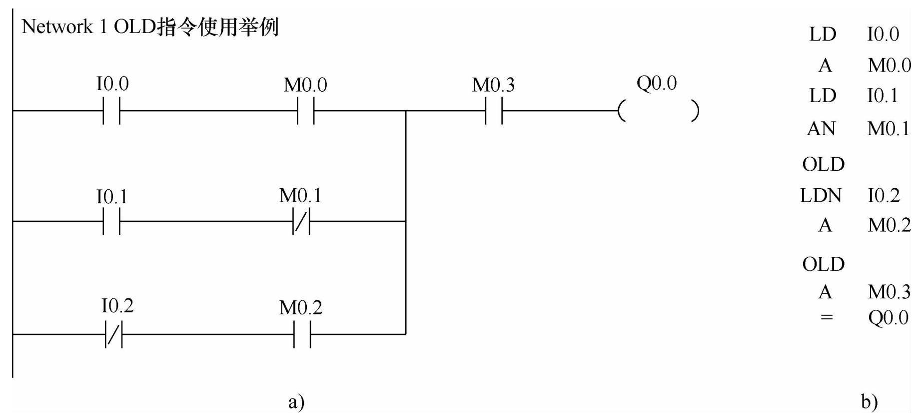


图 4-55　OLD 指令的用法

a）梯形图（OLD 串联块的并联连接）　b）助记符

使用说明：

a. 除在网络块逻辑运算的开始（左母线上）使用 LD 和/或 LDN 指令外，在块电路的开始（分支母线上）也要使用 LD 和/或 LDN 指令。

b. 可以依次使用 OLD 指令并联多个串联逻辑块，每完成一次块电路的并联时都要写上 OLD 指令。

c. OLD 指令无操作数。

②并联电路块的串联连接指令

两条以上支路并联形成的电路叫并联电路块。

并联电路块的串联连接指令为 ALD。其指令无操作数。

ALD（AndLoad）：与块指令。用于并联电路块的串联连接。

ALD 指令的用法，如图 4-56 所示。

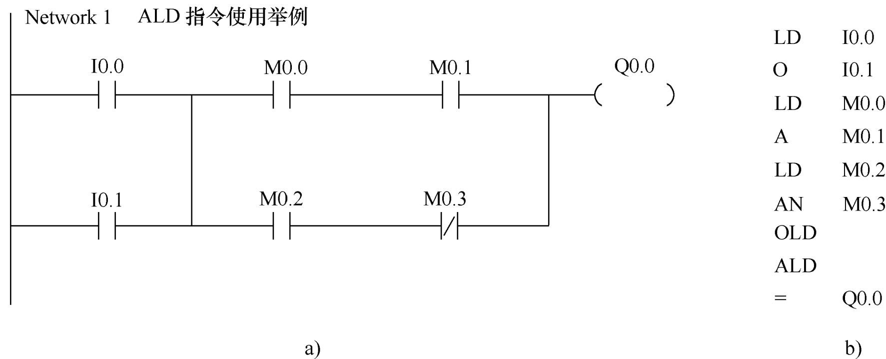


图 4-56　ALD 指令的用法
a）梯形图　b）助记符

使用说明：

a. 除在网络块逻辑运算的开始（左母线上）使用 LD 和/或 LDN 指令外，在块电路的开始（分支母线上）也要使用 LD 和/或 LDN 指令。

b. 可以依次使用 ALD 指令串联多个并联逻辑块，每完成一次块电路的串联连接时都要写上 ALD 指令。

c. ALD 指令无操作数。

③OLD 和 ALD 指令的逻辑操作

触点的串/并联指令只能将单个触点与其他触点或电路串/并联。要想将图 4-57 中由 I3.2 和 T16 的触点组成的串联电路与它上面的电路并联，首先需要完成两个串联电路块的内部“与”逻辑运算（即触点的串联），这两个电路块分别用 LDN 和 LD 指令表示电路块的起始触点。前两条指令执行完后，“与”运算的结果 $S0=\overline{I1.4}\cdot I0.3$ 存放在栈顶，第 3、4 条指令执行完后，“与”运算的结果 $S1=I3.2\cdot\overline{T16}$ 压入栈顶，原来在栈顶的 S0 被推到堆栈的第 2 层，第 2 层的数据被推到第 3 层，…，栈底的数据丢失。OLD 指令用逻辑“或”操作对堆栈第 1 层和第 2 层的数据相“或”，即将两个串联电路块并联，并将运算结果 $S2=S0+S1$ 存入堆栈的顶部，第 3 ~9 层中的数据依次向上移动一位。

图 4-57 中 OLD 后面的两条指令将两个触点并联，运算结果 $S3=\overline{C24}+\overline{I1.2}$ 被压入栈顶，堆栈中原来的数据依次向下一层推移，栈底值被推出丢失。ALD 指令用逻辑“与”操作对堆栈第 1 层和第 2 层的数据相“与”，即将两个电路块串联，并将运算结果 $S4=S2\cdot S3$ 存入堆栈的顶部，第 3 ~9 层中的数据依次向上移动一位。

将电路块串/并联时，每增加一个用 LD 或 LDN 指令开始的电路块内部的运算结果，堆栈中就增加一个数据，堆栈深度加 1；每执行一条 ALD 或 OLD 指令，堆栈深度就减 1。

梯形图和功能块图编辑器自动地插入处理栈操作所需要的指令。在语句表中，必须由编程人员加入这些堆栈处理指令。

2）逻辑入栈 LPS、逻辑读栈 LRD 和逻辑出栈 LPP 指令（3 条）

这三条指令也称为多重输出指令，主要用于多个分支电路同时受一个或一组触点控制的复杂逻辑输出处理。

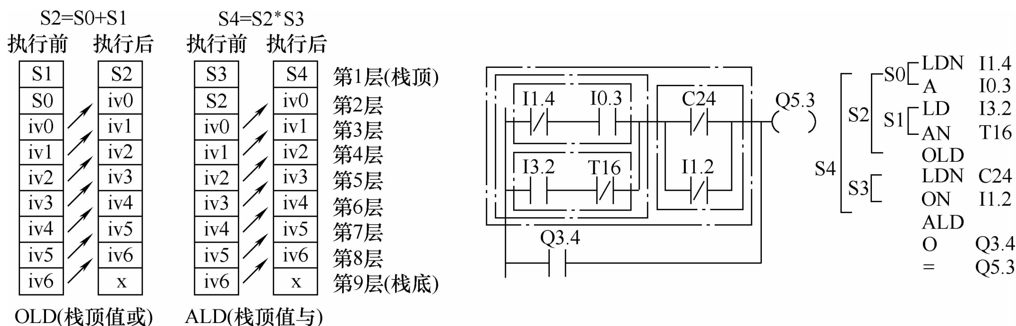


图 4-57　OLD 和 ALD 指令的逻辑操作

①LPS（Logic Push）：逻辑入栈指令（分支电路开始指令）。从梯形图中的分支结构中可以形象地看出，它用于生成一条新的母线，其左侧为原来的“主”逻辑块，右侧为新的“从”逻辑块，因此可以直接编程。从堆栈使用的角度来讲，LPS 指令的作用是把栈顶值复制后压入堆栈保存起来，防止丢失，以备恢复再用。

②LRD（Logic Read）：逻辑读栈指令。在梯形图分支结构中，当新母线左侧为“主”逻辑块时，LPS 开始右侧的第一个“从”逻辑块编程，LRD 开始第二个以后的“从”逻辑块编程。从堆栈使用的角度来讲，LRD 指令的作用是只读取最近 LPS 压入堆栈的内容，即恢复最近保存的内容供编程使用；而堆栈本身不进行 Push 和 Pop 工作，即 LPS 压入堆栈的内容仍继续保存着没丢失，以备继续恢复再用。

③LPP（Logic Pop）：逻辑出栈指令（分支电路结束指令）。在梯形图分支结构中，LPP 用于 LPS 产生的新母线右侧的最后一个“从”逻辑块编程，它在读取完离它最近 LPS 压入堆栈内容的同时取消该条新母线。从堆栈使用的角度来讲，LPP 把堆栈弹出一级，堆栈内存依次上移，即将 LPS 压入堆栈保存的内容弹出，不需要再保存了。

上述三条指令的用法，如图 4-58 ~ 图 4-60 所示。

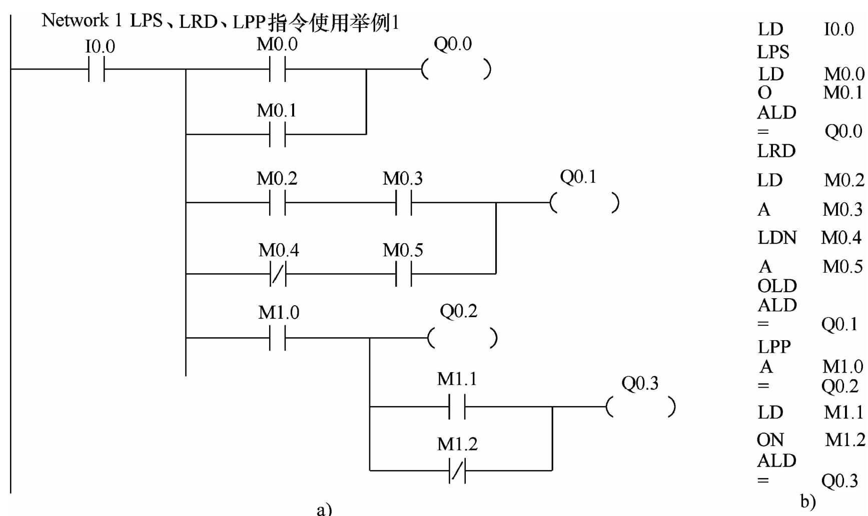


图 4-58　LPS、LRD、LPP 三条指令的用法举例（一级堆栈）
a）梯形图　b）助记符

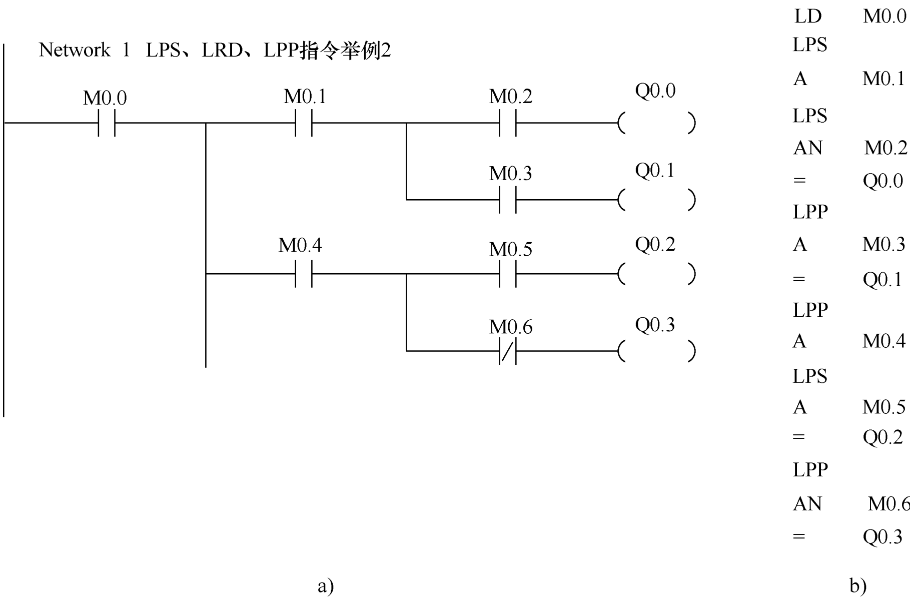


图 4-59　LPS、LRD、LPP 三条指令的用法举例（二级嵌套）

a）梯形图　b）助记符

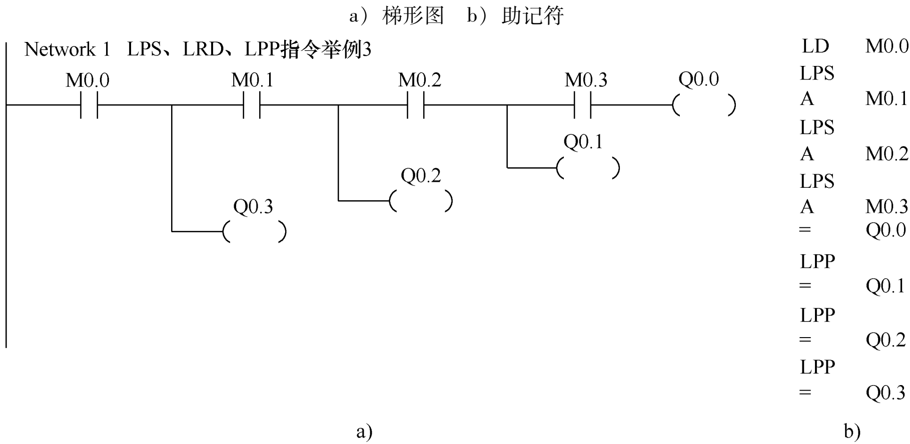


图 4-60　LPS、LRD、LPP 三条指令的用法举例（多级嵌套）

a）梯形图　b）助记符

使用说明：

a. 逻辑入栈 LPS、逻辑读栈 LRD 和逻辑出栈 LPP 指令可以嵌套使用，但受堆栈空间的限制，最多只能使用 9 次。

b. LPS 和 LPP 必须成对出现，它们之间根据需要可以插入使用 LRD 指令。

c. LPS、LRD、LPP 指令无操作数。

3）装载堆栈指令 LDS n（Load Stack）（1 条）

它的功能是复制堆栈中的第 n 个值到栈顶，而栈底值丢失。该指令在编程中使用较少。

指令格式：LDS n（n 为 0 ~ 8 的整数）

例如，执行指令：LDS3。该指令执行后堆栈发生变化的情况，见表 4-29。

表 4-29　LDS_3 指令使用说明

入栈前	入栈后	入栈前	入栈后
iv0	iv3	iv5	iv4
iv1	iv0	iv6	iv5
iv2	iv1	iv7	iv6
iv3	iv2	iv8	iv7
iv4	iv3		

4）LPS、LRD、LPP、LDS 的堆栈操作

LPS、LRD、LPP、LDS 的堆栈操作，如图 4-61 所示。

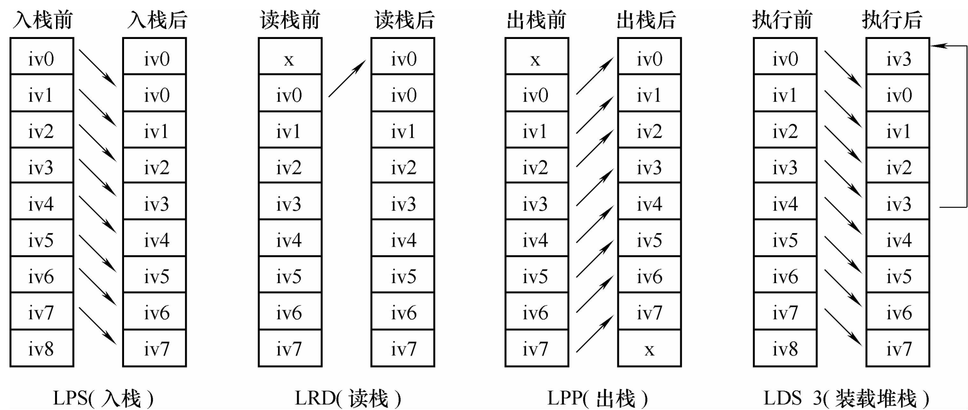


图 4-61　LPS、LRD、LPP、LDS 的堆栈操作

（7）RS 触发器指令（2 条）

RS 触发器指令在编程软件 Micro/WIN32V3.2 版本中才有。它包括两条指令：

SR（Set Dominant Bistable）：置位优先触发器指令。当置位信号（S1）和复位信号（R）都为 1 时，输出为 1。

RS（Reset Dominant Bistable）：复位优先触发器指令。当置位信号（S）和复位信号（R1）都为 1 时，输出为 0。

RS 触发器指令的 LAD 形式和真值表，见表 4-30。bit 参数用于指定被置位或者被复位的 BOOL 参数。

表 4-30　RS 触发器指令

类型	梯形图程序	真值表			指令功能
		S1	R	输出(bit)	
置位优先触发器指令(SR)	bit S1 OUT SR R	0	0	保持前一状态	置位优先,当置位信号(S1)和复位信号(R)都为 1 时,输出为 1
		0	1	0	
		1	0	1	
		1	1	1	

（续）

类型	梯形图程序	真值表			指令功能
复位优先触发器指令（RS）	bit S OUT RS R1	S	R1	输出（bit）	复位优先，当置位信号（S）和复位信号（R1）都为 1 时，输出为 0
		0	0	保持前一状态	
		0	1	0	
		1	0	1	
		1	1	0	

RS 触发器指令的用法，如图 4-62 所示。

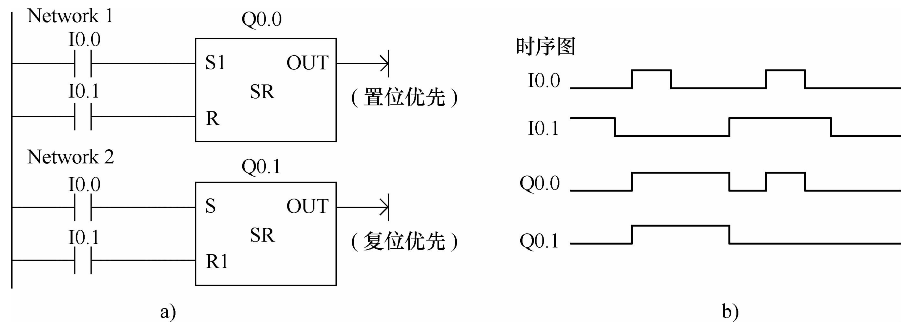


图 4-62　RS 触发器指令的用法
a）梯形图　b）波形图

使用说明：

① 触发器指令的语句表形式比较复杂，常使用梯形图形式。

② 符号——>| 表示输出是一个可选的能流，可以级联或串联。

③ S、R1、S1、R、OUT 端的操作数包括 I、Q、M、SM、T、C、V、S、L 和能流。

④ bit 端的操作数为：I、Q、V、M 和 S。

⑤ 电动机起动的触发器指令程序，如图 4-63 所示。由图可知，按下起动按钮 I0.0，在 I0.0 信号的上升沿置位 S1 端为 1，Q0.0 得电，电动机开始运行；按下停止按钮 I0.1，复位 R 端为 1，Q0.0 断电，电动机停止运行。

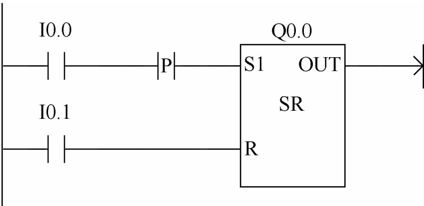


图 4-63　电动机起动的触发器指令程序

（8）边沿脉冲指令（2 条）

边沿脉冲指令为 EU（Edge Up）、ED（Edge Down）。

边沿脉冲指令的使用及说明，见表 4-31。

表 4-31　边沿脉冲指令的使用及说明

指令名称	LAD	STL	功　能	说明
上升沿脉冲	—| P |—	EU	在上升沿产生脉冲	无操作数
下降沿脉冲	—| N |—	ED	在下降沿产生脉冲	

边沿脉冲指令 EU、ED 的用法，如图 4-64 所示。

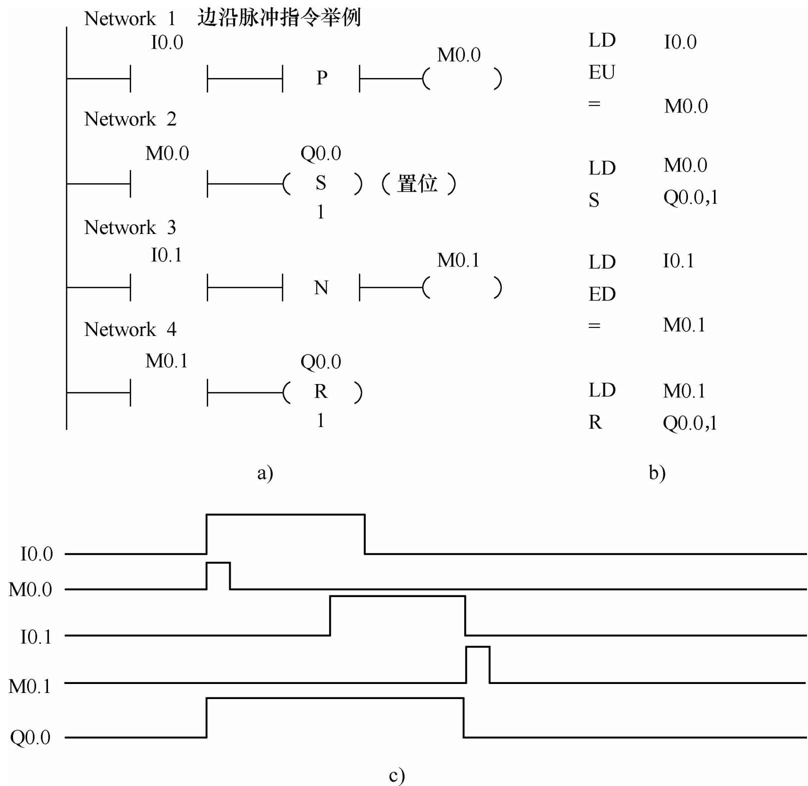


图 4-64 边沿脉冲指令 EU/ED 的用法

a）梯形图 b）助记符 c）时序图

使用说明：

① EU、ED 指令只有在输入信号发生变化时才有效，其输出信号的脉冲宽度为一个机器扫描周期。其作用是把一个长电平输入信号变成一个窄脉冲输出信号，常用于起动及关断条件的判定以及配合功能指令完成一些逻辑控制任务。

② 对于开机时就为接通状态的输入条件，EU 指令不被执行。

③ EU、ED 指令无操作数。

（9）定时器指令（3 条）

定时器是 PLC 中最常用的元件之一。用好、用对定时器对 PLC 程序设计非常重要。定时器编程时要预置定时值，在运行过程中当定时器的输入条件满足时，当前值从 0 开始按一定的单位增加；当定时器的当前值到达设定值时，定时器发生动作，从而满足各种定时逻辑控制的需要。下面从几个方面来详细介绍定时器的使用。

1）几个基本的概念

① 种类。S7-200 系列 PLC 为用户提供了 3 种类型的定时器：接通延时定时器（TON）、有记忆接通延时定时器（TONR）和断开延时定时器（TOF）。

② 分辨率与定时时间的计算。单位时间的时间增量称为定时器的分辨率（时基）。S7-200 系列 PLC 定时器有 3 个分辨率等级：1ms、10ms 和 100ms。

定时器定时时间 T 的计算：T = PT × S。式中：T 为实际定时时间；PT 为设定值；S 为分辨率。例如：TON 指令使用 T97（为 10ms 的定时器），设定值为 100，则实际定时时间为：

T = 100 × 10ms = 1000ms

定时器的设定值 PT，数据类型为 INT 型。操作数可为：VW、IW、QW、MW、SW、SMW、LW、AIW、T、C、AC、*AC、*LD 和常数，其中常数最为常用。

③ 定时器的编号

定时器的编号用定时器的名称和它的常数编号（最大数为 255）来表示，即 T×××，如：T40。

定时器的编号包含两方面的变量信息：定时器位和定时器当前值。

定时器位：与其他继电器的输出相似，当定时器的当前值达到定时值 PT 时，定时器的触点动作。

定时器当前值：存储定时器当前所累计的时间，它用 16 位符号整数来表示，最大计数值为 32767。

定时器的分辨率和编号，见表 4-32。

表 4-32　定时器的分辨率和编号

定时器类型	分辨率/ms	最大当前值/s	定时器编号
TONR	1	32.767	T0，T64
	10	327.67	T1 ~ T4，T65 ~ T68
	100	3276.7	T5 ~ T31，T69 ~ T95
TON，TOF	1	32.767	T32，T96
	10	327.67	T33 ~ T36，T97 ~ T100
	100	3276.7	T37 ~ T63，T101 ~ T255

从表 4-32 可以看出 TON 和 TOF 使用相同范围的定时器编号。需要注意的是，在同一个 PLC 程序中绝不能把同一个定时器号同时用做 TON 和 TOF。例如在程序中，不能既有接通延时（TON）定时器 T32，又有断开延时（TOF）定时器 T32。

2）定时器指令使用说明

①接通延时定时器 TON（On-Delay Timer）

接通延时定时器用于单一时间间隔的定时。上电周期或首次扫描时，定时器位为 OFF，当前值为 0。输入端接通时，定时器位为 OFF，当前值从 0 开始计时，当前值达到设定值时，定时器位为 ON，当前值仍连续计数到 32767。输入端断开，定时器自动复位，即定时器位为 OFF，当前值为 0。接通延时定时器程序与时序图，如图 4-65 所示。

②断开延时定时器 TOF（Off-Delay Timer）

断开延时定时器用于断电后的单一间隔时间计时。上电周期或首次扫描时，定时器位为 OFF，当前值为 0。输入端接通时，定时器位为 ON，当前值为 0。当输入端由接通到断开时，定时器开始计时。当达到设定值时定时器为 OFF，当前值等于设定值，停止计时。输入端再次由 OFF→ON 时，TOF 复位，这时 TOF 位为 ON，当前值为 0。如果输入端再从 ON→OFF，则 TOF 可实现再次起动。断开延时定时器程序与时序图，如图 4-66 所示。

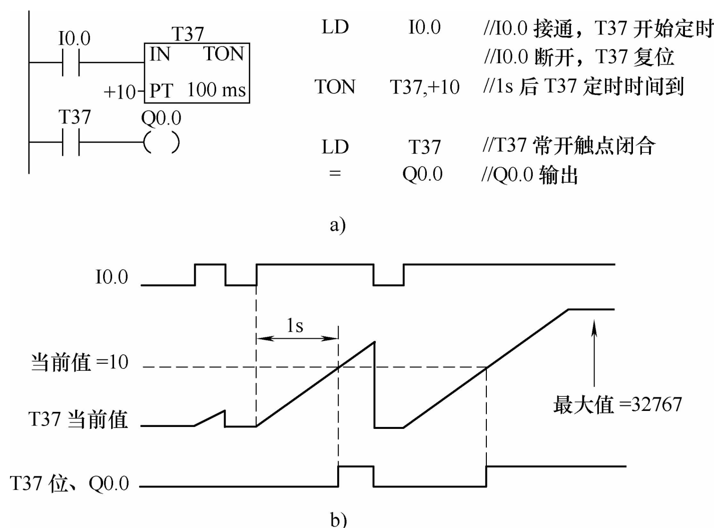


图 4-65　接通延时定时器程序与时序图

a）梯形图程序及指令表　b）时序图

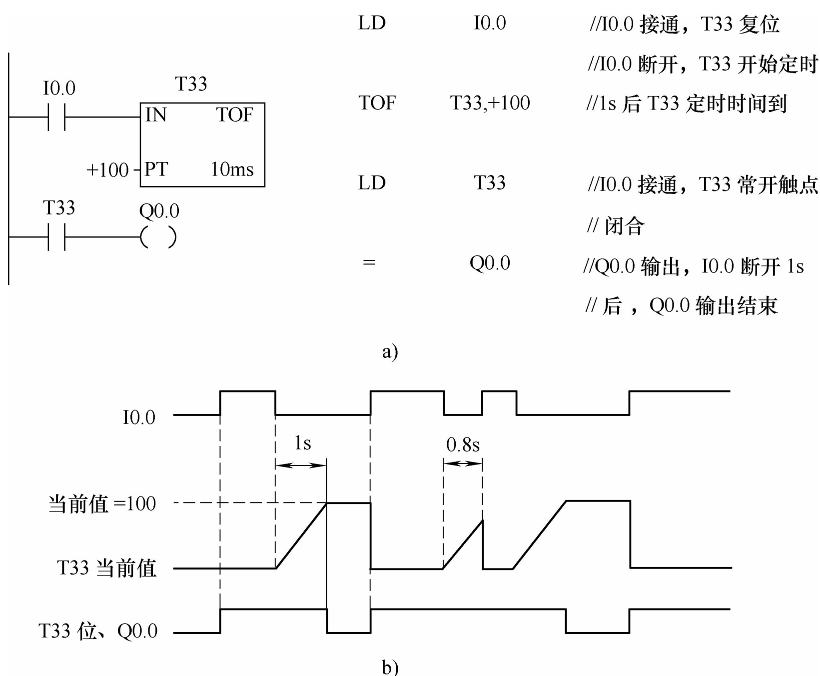


图 4-66　断开延时定时器程序与时序图

a）梯形图程序及指令表　b）时序图

③记忆接通延时定时器 TONR（Retentive On-Delay Timer）

记忆接通延时定时器具有记忆功能，它用于对许多间隔的累计定时。上电周期或首次扫描时，定时器为 OFF，当前值保持在掉电前的值。当输入端接通时，当前值从上次的保持值继续计时；当累计当前值达到设定值时，定时器位为 ON，当前值可继续计数到 32767。需

要注意的是，TONR 定时器只能用复位指令 R 对其进行复位操作。TONR 复位后，定时器位为 OFF，当前值为 0。掌握好对 TONR 的复位及起动是使用 TONR 指令的关键。记忆接通延时定时器程序与时序图，如图 4-67 所示。

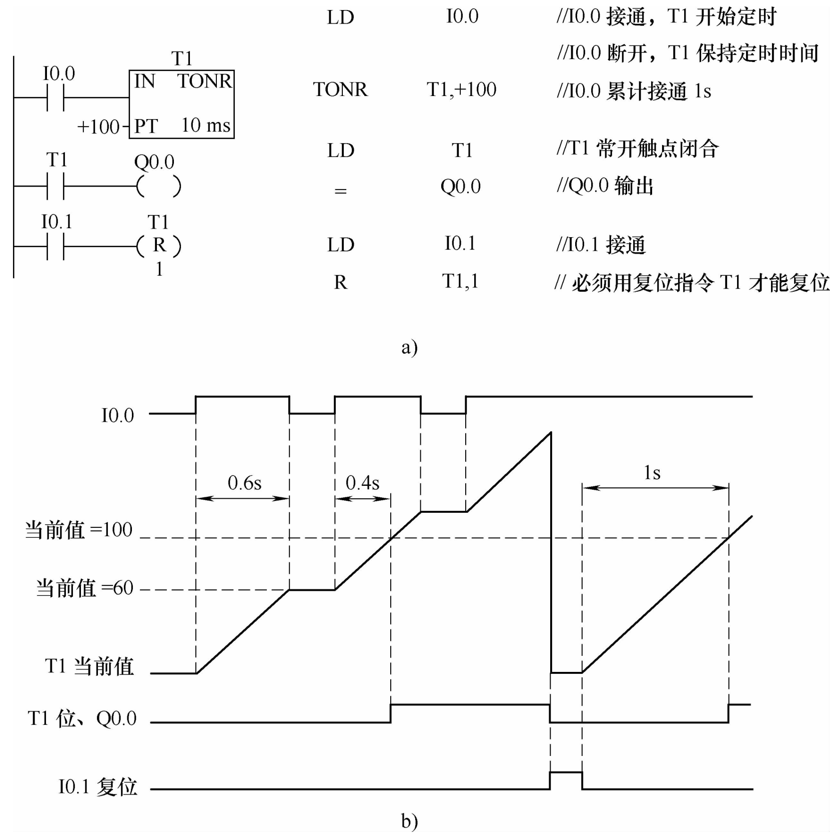


图 4-67　记忆接通延时定时器程序与时序图

a）梯形图程序及指令表　b）时序图

3 种定时器指令的 LAD、STL 格式及功能，见表 4-33。

表 4-33　3 种定时器指令的 LAD、STL 格式及功能

定时器类型	梯形图程序	语句表程序	指　令　功　能
接通延时定时器（TON）	T××× IN TON PT	TON T×××，PT	使能输入端（IN）的输入电路接通时开始定时。当前值大于等于预置时间 PT 端指定的设定值时，定时器位变为 ON，梯形图中对应的定时器的常开触点闭合，常闭触点断开。达到设定值后，当前值继续计数，直到最大值时停止
断开延时定时器（TOF）	T××× IN TOF PT	TOF T×××，PT	使能输入端接通时，定时器当前值被清零，同时定时器位变为 ON。当输入端断开时，当前值从 0 开始增加达到设定值，定时器位变为 OFF，对应梯形图中常开触点断开，常闭触点闭合，当前值保持不变

（续）

定时器类型	梯形图程序	语句表程序	指　令　功　能
保持型接通延时定时器（TONR）	T××× IN　TONR PT	TONR T×××，PT	输入端接通时开始定时，定时器当前值从 0 开始增加；当未达到定时时间而输入端断开时，定时器当前值保持不变；当输入端再次接通时，当前值继续增加，达到设定值时，定时器位变为 ON

使用说明：

a. T×××表示定时器号，IN 表示输入端，PT 端的取值范围是 1～32767。

b. 接通延时定时器输入电路断开时，定时器自动复位，即当前值被清零，定时器位变为 OFF。

c. TON 与 TOF 指令不能共用同一个定时器号，即在同一程序中，不能对同一个定时器同时使用 TON 与 TOF 指令。

d. 断开延时定时器 TOF 可以用复位指令进行复位。

e. 保持型接通延时定时器只能用复位指令进行复位，即当前值被清零，定时器位变为 OFF。

f. 保持型接通延时定时器可实现累计输入端接通时间的功能。

g. 结合时序图分析程序，有助于更好地理解定时器指令的应用。

3）应用举例

使用定时器控制电动机正反转的梯形图程序，如图 4-68 所示。其工作过程如下：

按下系统总起动按钮 I1.0，系统起动。如果先按下正转起动按钮 I0.1，定时器 T37 开始得电计时，2s 后 Q0.1 得电，电动机开始正转；如果先按下反转起动按钮 I0.2，定时器 T38 开始得电计时，2s 后 Q0.2 得电，电动机开始反转；程序中 M0.1 和 M0.2 线圈起自锁作用，保证定时器输入端接通。

4）定时器的刷新方式和正确使用

①定时器的刷新方式

在 S7-200 系列 PLC 的定时器中，1ms、10ms、100ms 定时器的刷新方式是不同的，从而在使用方法上也有很大的不同。这和其他 PLC 是有很大区别的。使用时一定要注意根据使用场合和要求来选择定时器。

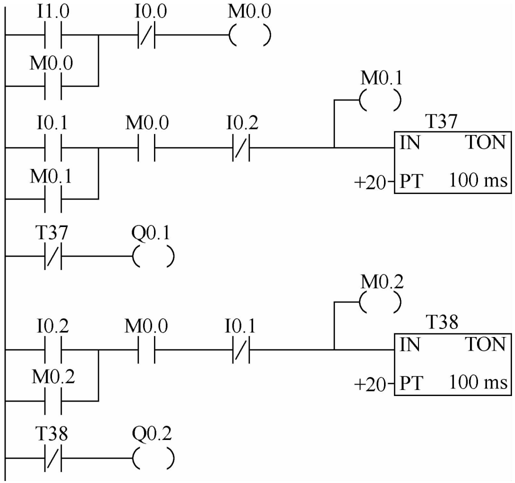


图 4-68　使用定时器控制电动机正反转的梯形图程序

a. 1ms 定时器。1ms 定时器由系统每隔 1ms 刷新一次，与扫描周期及程序处理无关。它采用的是中断刷新方式。因此，当扫描周期大于 1ms 时，在一个周期中可能被多次刷新。其当前值在一个扫描周期内不一定保持一致。

b. 10ms 定时器。10ms 定时器由系统在每个扫描周期开始时自动刷新，由于是每个扫描

周期只刷新一次，故在一个扫描周期内定时器位和定时器的当前值保持不变。

c. 100ms 定时器。100ms 定时器在定时器指令执行时被刷新，因此，100ms 定时器被激活后，如果不是每个扫描周期都执行定时器指令或在一个扫描周期内多次使用定时器指令，则都会造成计时失准，所以在后面讲到的跳转指令和循环指令段中使用定时器时，要格外小心。100ms 定时器仅用在定时器指令在每个扫描周期执行一次的程序中。

②定时器的正确使用

图 4-69 所示为正确使用定时器的一个例子。它用来在定时器计时时间到时产生一个宽度为一个扫描周期的脉冲。

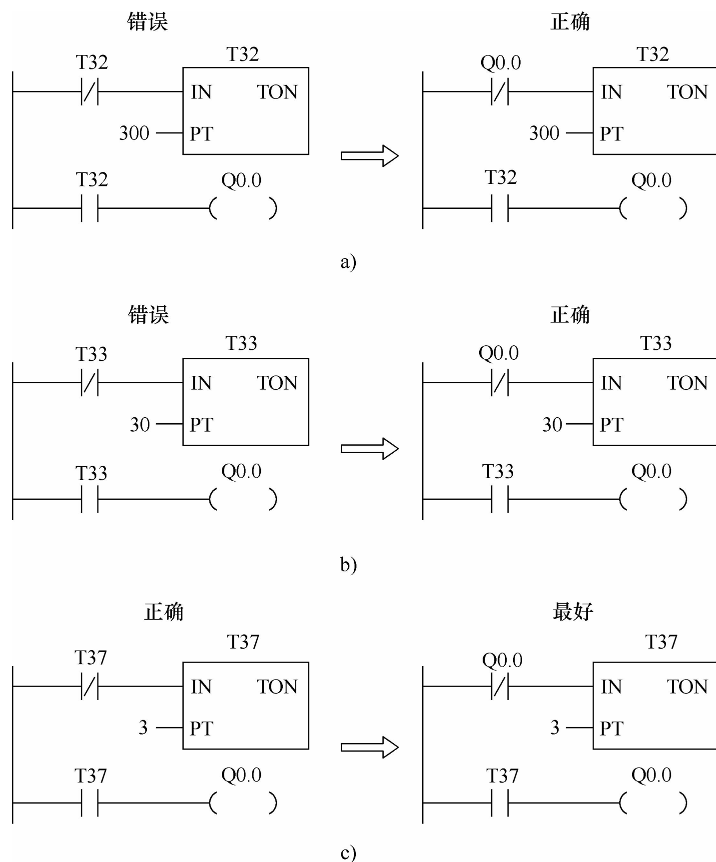


图 4-69　定时器正确使用举例

a）1ms 定时器的使用　b）10ms 定时器的使用 c）100ms 定时器的使用

结合各种定时器的刷新方式规定，从图中可以看出：

a. 对 1ms 定时器 T32，在使用错误方法时，只有当定时器的刷新发生在 T32 的常闭触点执行以后到 T32 的常开触点执行以前的区间时，Q0. 0 才能产生宽度为一个扫描周期的脉冲，而这种可能性是极小的。在其他情况，则这个脉冲产生不了。

b. 对 10ms 定时器 T33，在使用错误方法时，Q0. 0 永远也产生不了这个脉冲。因为定时器计时到时，定时器在每次扫描开始时刷新。该例中 T33 被置位，但执行到定时器指令时，定时器将被复位（当前值和位都被置 0）。当常开触点 T33 被执行时，T33 永远为 OFF，

Q0.0 也将为 OFF，即永远不会被置位为 ON。

c. 100ms 定时器在执行指令时刷新，所以当定时器 T37 到达设定值时，Q0.0 肯定会产生这个脉冲。改用正确使用方法后，把定时器到达设定值产生结果的元件的常闭触点用做定时器本身的输入，则不论哪种定时器，都能保证定时器达到设定值时，Q0.0 产生宽度为一个扫描周期的脉冲。所以，在使用定时器时，要弄清楚定时器的分辨率，否则，一般情况下不便把定时器本身的常闭触点作为自身复位条件。在实际使用中，为了简单，100ms 的定时器常采用自复位逻辑，而且 100ms 定时器也是使用最多的定时器。

（10）计数器指令（3 条）

计数器用来累计输入脉冲的次数，在实际应用中用来对产品进行计数或完成复杂的逻辑控制任务。计数器的使用和定时器基本相似，编程时输入它的计数设定值，计数器累计它的脉冲输入端信号上升沿的个数。当计数达到设定值时，计数器发生动作，以便完成计数控制任务。

1）几个基本概念

①种类。S7-200 系列 PLC 的计数器有 3 种：加（增）计数器（CTU）、减计数器（CTD）和加减计数器（CTUD）。

②编号。计数器的编号用计数器名称和数字（0 ~ 255）组成，即 C×××，如 C60。

计数器的编号包含两方面的信息：计数器的位和计数器当前值。

计数器位：计数器位和继电器一样是一个开关量，表示计数器是否发生动作的状态。当计数器的当前值等于设定值时，该位被置位为 1。

计数器当前值：其值是一个存储单元，它用来存储计数器当前所累计的脉冲个数，用 16 位符号整数来表示，最大值为 32767。

③计数器的输入端和操作数。设定值输入：数据类型为 INT 型。寻址范围：VW、IW、QW、MW、SW、SMW、LW、AIW、T、C、AC、*VD、*AC、*LD 和常数。一般情况下使用常数作为计数器的设定值。

2）计数器指令使用说明

①加计数器（Count Up，CTU）。首次扫描时，计数器位为 OFF，当前值为 0。在计数脉冲输入端 CU 的每个上升沿，计数器计数 1 次，当前值增加一个数值。当前值达到设定值时，计数器位为 ON，当前值可继续计数到 32767 后停止计数。复位输入端有效或对计数器执行复位指令，计数器自动复位，即计数器位为 OFF，当前值为 0。加计数程序与时序图，如图 4-70 所示。

②减计数器（Count Down，CTD）。首次扫描时，计数器位为 OFF，当前值为预设定值 PV。在计数脉冲输入端 CD 的每个上升沿计数器计数 1 次，当前值减小一个数值。当前值减小到 0 时，计数器位置位为 1（ON），其后一直为 1。当复位输入端有效或对计数器执行复位指令，计数器自动复位，即计数器位为 OFF，当前值为设定值 PV。减计数程序与时序图，如图 4-71 所示。

③加/减计数器（Count Up/Down，CTUD）

加/减计数器有两个计数脉冲输入端：CU 输入端用于递增计数，CD 输入端用于递减计数。首次扫描时，计数器位为 OFF，当前值为 0。CU 输入的每个上升沿，都使计数器当前值增加一个数值。CD 输入的每个上升沿，都使计数器当前值减小一个数值。当前值达到设

定值时，计数器位置位为 1（ON）。

加/减计数器当前值计数到 32767（最大值）时，下一个 CU 输入的上升沿将使当前值跳变为最小值（－32767）；当前值达到最小值－32767 后，下一个 CD 输入的上升沿将使当前值跳变为最大值 32767。复位输入端有效或只用复位指令对计数器执行复位操作后，计数器自动复位，即计数器位为 OFF，当前值为 0。加/减计数据程序与时序图，如图 4-72 所示。

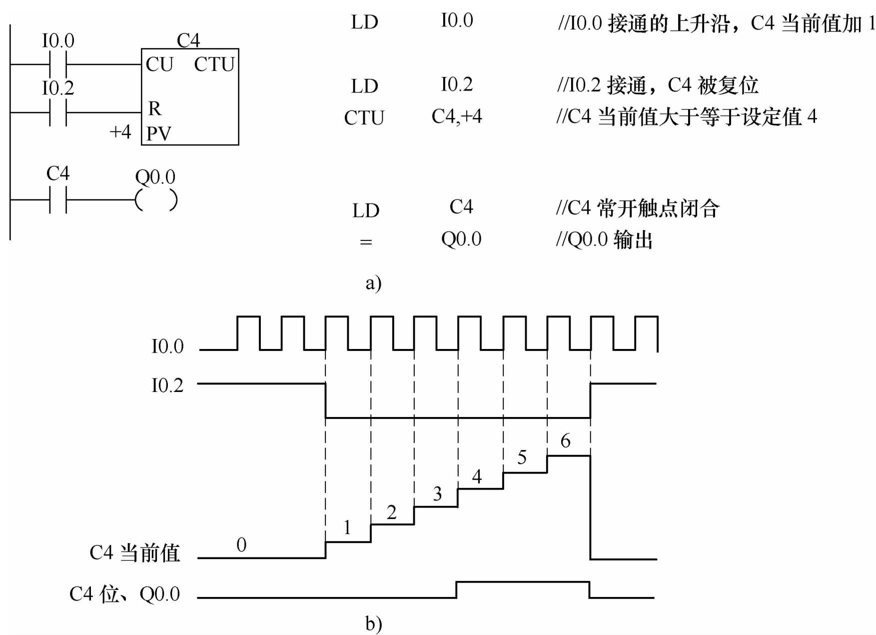


图 4-70　加计数程序与时序图

a）梯形图程序及指令表　b）时序图

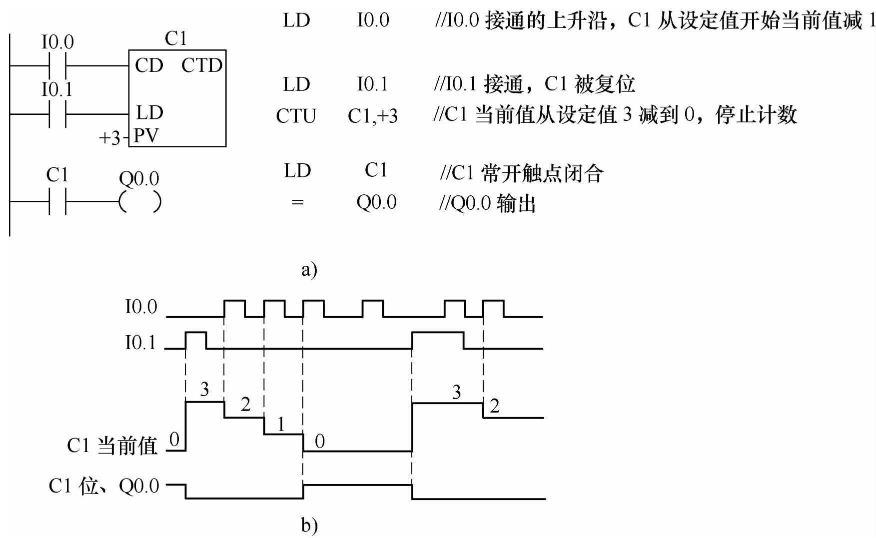


图 4-71　减计数程序与时序图

a）梯形图程序及指令表　b）时序图

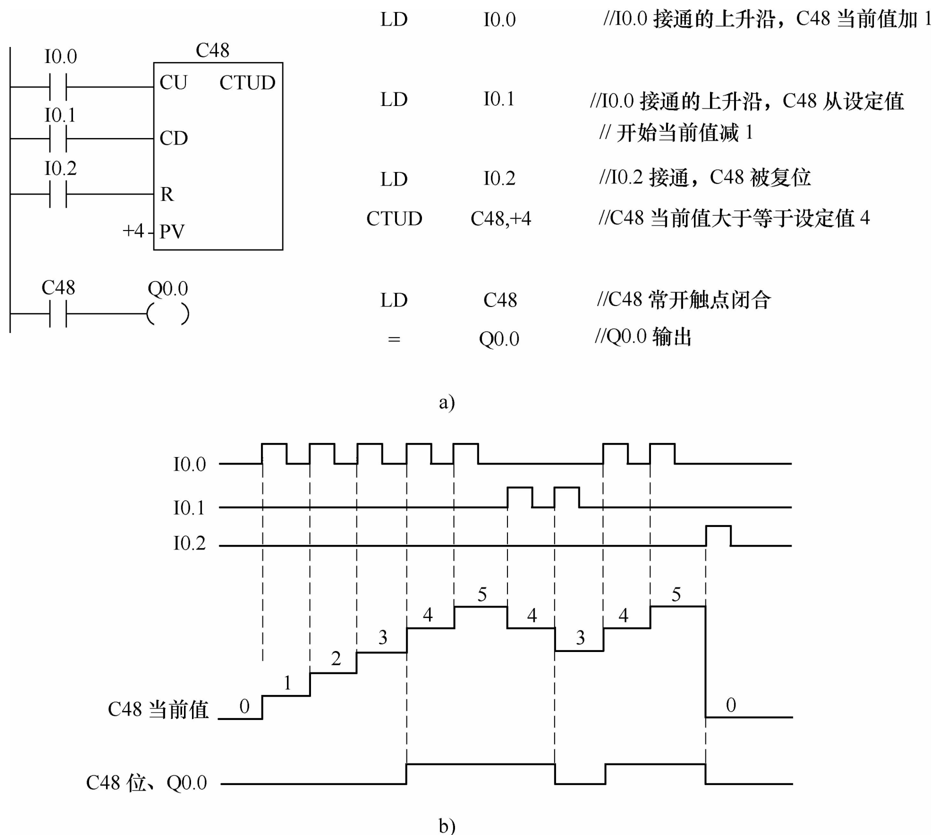


图 4-72　加/减计数据程序与时序图

a）梯形图程序及指令表　b）时序图

3 种计数器指令的 LAD、STL 格式及功能，见表 4-34。

表 4-34　3 种计数器指令的 LAD、STL 格式及功能

计数器类型	梯形图程序	语句表程序	指　令　功　能
加计数器（CTU）	C××× CU CTU R PV	CTU　C×××，PV	加计数器（CTU）的复位端 R 断开且脉冲输入端 CU 检测到输入信号正跳变时当前值加 1，直到达到 PV 端设定值时，计数器位变为 ON
减计数器（CTD）	C××× CD CTD LD PV	CTD　C×××，PV	减计数器（CTD）的装载输入端 LD 断开且脉冲输入端 CD 检测到输入信号正跳变时当前值从 PV 端的设定值开始减 1，变为 0 时，计数器位变为 ON
加减计数器（CTUD）	C××× CU CTUD CD R PV	CTUD　C×××，PV	加减计数器（CTUD）的复位端 R 断开且加输入端 CU 检测到输入信号正跳变时当前值加 1，当减输入端 CD 检测到输入信号正跳变时当前值减 1。当前值大于等于 PV 端设定值时，计数器位变为 ON

使用说明：

a. 3 种计数器号的范围都是 0 ~ 255，设定值 PV 端的取值范围都是 1 ~ 32767。

b. 可以使用复位指令对计数器进行复位。

c. 减计数器的装载输入端 LD 为 ON 时，计数器位被复位，设定值被装入计数器；对于加计数器与加减计数器，当复位输入端 R 为 ON 或执行复位指令时，计数器位被复位。

d. 对于加减计数器，当前值达到最大值 32767 时，下一个 CU 的正跳变将使当前值变为最小值 -32767；反之亦然。

e. 结合时序图分析程序，有助于更好地理解计数器指令的应用。

3）应用举例：

用计数器扩大定时器的定时范围。如图 4-73 所示。

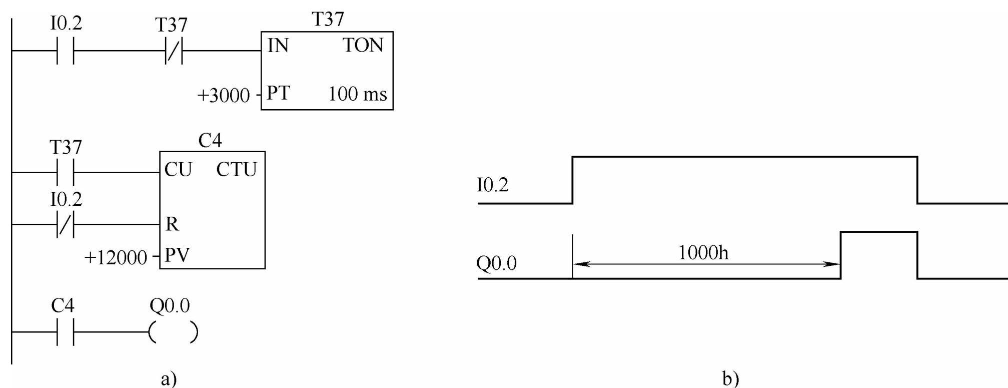


图 4-73　用计数器扩大定时器的定时范围

a）梯形图　b）时序图

开始时 I0.2 断开，T37 复位不计时，其当前值变为 0，PT 值设定为 3000（0.1s × 3000 = 300s = 5min）。当 I0.2 接通并保持时，T37 线圈通电开始计时，当其当前值等于设定值 3000，即 300s 的定时时间到时，T37 位被置 1，其常闭接点断开，使 T37 复位，当前值变为 0，同时常闭接点又复位接通，T37 线圈通电开始计时。T37 周而复始地工作，直到 I0.2 断开。T37 产生的 300s（5min）时钟脉冲送给 C4 计数，计满 12000 后，C4 的当前值等于设定值，其计数器位被置 1，常开接点闭合，Q0.0 得电接通。

T37 为 100ms 定时器，经过 C4 扩大后，其总的定时时间为 $T_{\Sigma} = 0.1K_TK_C = 0.1s \times 3000 \times 12000 = 1000h$。

（11）NOT 及 NOP 指令（2 条）

1）取反指令（NOT）：将复杂逻辑结果取反，为用户使用反逻辑提供方便。该指令无操作数，其 LAD 和 STL 形式为：

STL 形式：NOT

LAD 形式：——［NOT］——

2）空操作指令（No Operation，NOP）：该指令很少使用，甚至在西门子公司的系统手册中都未介绍。该指令主要在跳转指令的结束处或在调试程序中使用。该指令对用户程序的执行没有影响，其 LAD 和 STL 形式如下：

STL 形式：NOP N

LAD 形式：—— N NOP

N 的范围：0 ~ 244。

（12）结束及暂停指令（2 条）

结束指令（END）及暂停指令（STOP）的 LAD、STL 格式及功能，见表 4-35。

表 4-35　结束指令及暂停指令的 LAD、STL 格式及功能

梯形图程序	语句表程序	指令功能
—(END)	END	条件结束指令：当条件满足时，终止用户主程序的执行
—(STOP)	STOP	停止指令：立即终止程序的执行，CPU 从 RUN 到 STOP

结束指令分为有条件结束指令（END）和无条件结束指令（MEND）。两条指令在梯形图中以线圈形式编程，无操作数。执行完结束指令后，系统结束主程序，返回主程序起点。

使用说明：

① 结束指令只能用在主程序中，不能在子程序和中断程序中使用。而有条件结束指令可用在无条件结束指令前结束主程序。

② 调试程序时，在程序的适当位置插入无条件结束指令可实现程序的分段调试。

③ 可以利用程序执行的结果状态、系统状态或外部设置切换条件来调用有条件结束指令，使程序结束。

④ 使用 Micro/Win32 编程时，编程人员无需手工输入无条件结束指令，该软件会自动在内部加上一条无条件结束指令到主程序的结尾。

（13）数据的比较指令

在实际的控制过程中，可能需要对两个操作数进行比较，比较条件成立时完成某种操作，从而实现某种控制。比如初始化程序中，在 VW10 中存放着数据 100，模拟量输入 AIW0 中采集现场数据。当 AIW0 中数值小于或等于 VW10 中数值时 Q0. 0 输出；当 AIW0 中数值大于 VW10 中数值时 Q0. 1 输出；如何操作？这就要用到数据比较指令。

1）数据比较指令

数据比较指令是将两个操作数（数值及字符串）按指定的条件进行比较，操作数可以是整数，也可以是实数，在梯形图中用带参数和运算符的触点表示比较指令。比较触点可以装入，也可以串/并联。比较指令为上下限控制及数值条件判断提供了极大的方便。

比较指令的类型有：字节比较、整数比较、双字整数比较、实数比较和字符串比较。

比较指令的 LAD、STL 格式及功能，见表 4-36；其方式，见表 4-37。

表 4-36　比较指令的 LAD、STL 格式及功能

梯形图程序	语句表程序	指令功能
IN1 —| = =B |— IN2	LDB = IN1,IN2（与母线相连） AB = IN1,IN2（与运算） OB = IN1,IN2（或运算）	字节比较指令：用于比较两个无符号字节数的大小
IN1 —| = =I |— IN2	LDW = IN1,IN2（与母线相连） AW = IN1,IN2（与运算） OW = IN1,IN2（或运算）	字整数比较指令：用于比较两个有符号整数的大小

（续）

梯形图程序	语句表程序	指　令　功　能
IN1 —| = =D |— IN2	LDD = IN1，IN2（与母线相连） AD = IN1，IN2（与运算） OD = IN1，IN2（或运算）	双字整数比较指令：用于比较两个有符号双字整数的大小
IN1 —| = =R |— IN2	LDR = IN1，IN2（与母线相连） AR = IN1，IN2（与运算） OR = IN1，IN2（或运算）	实数比较指令：用于比较两个有符号实数的大小
IN1 —| = =S |— IN2	LDS = IN1，IN2（与母线相连） AS = IN1，IN2（与运算） OS = IN1，IN2（或运算）	字符串比较指令：用于比较两个字符串的 ASCII 码字符是否相等

表 4-37　比较指令的方式

形　　式	方　　式				
	字节比较	整数比较	双字整数比较	实数比较	字符串比较
LAD （以 == 为例）	IN1 —| = =B |— IN2	IN1 —| = =I |— IN2	IN1 —| = =D |— IN2	IN1 —| = =R |— IN2	IN1 —| = =S |— IN2
STL	LDB = IN1，IN2 AB = IN1，IN2 OB = IN1，IN2 LDB < > IN1，IN2 AB < > IN1，IN2 OB < > IN1，IN2 LDB < IN1，IN2 AB < IN1，IN2 OB < IN1，IN2 LDB <= IN1，IN2 AB <= IN1，IN2 OB <= IN1，IN2 LDB > IN1，IN2 AB > IN1，IN2 OB > IN1，IN2 LDB >= IN1，IN2 AB >= IN1，IN2 OB >= IN1，IN2	LDW = IN1，IN2 AW = IN1，IN2 OW = IN1，IN2 LDW < > IN1，IN2 AW < > IN1，IN2 OW < > IN1，IN2 LDW < IN1，IN2 AW < IN1，IN2 OW < IN1，IN2 LDW <= IN1，IN2 AW <= IN1，IN2 OW <= IN1，IN2 LDW > IN1，IN2 AW > IN1，IN2 OW > IN1，IN2 LDW >= IN1，IN2 AW >= IN1，IN2 OW >= IN1，IN2	LDD = IN1，IN2 AD = IN1，IN2 OD = IN1，IN2 LDD < > IN1，IN2 AD < > IN1，IN2 OD < > IN1，IN2 LDD < IN1，IN2 AD < IN1，IN2 OD < IN1，IN2 LDD <= IN1，IN2 AD <= IN1，IN2 OD <= IN1，IN2 LDD > IN1，IN2 AD > IN1，IN2 OD > IN1，IN2 LDD >= IN1，IN2 AD >= IN1，IN2 OD >= IN1，IN2	LDR = IN1，IN2 AR = IN1，IN2 OR = IN1，IN2 LDR < > IN1，IN2 AR < > IN1，IN2 OR < > IN1，IN2 LDR < IN1，IN2 AR < IN1，IN2 OR < IN1，IN2 LDR <= IN1，IN2 AR <= IN1，IN2 OR <= IN1，IN2 LDR > IN1，IN2 AR > IN1，IN2 OR > IN1，IN2 LDR >= IN1，IN2 AR >= IN1，IN2 OR >= IN1，IN2	LDS = IN1，IN2 AS = IN1，IN2 OS = IN1，IN2 LDS < > IN1，IN2 AS < > IN1，IN2 OS < > IN1，IN2
IN1 和 IN2 寻址范围	IB，QB，MB，SMB，VB，SB，LB，AC，* VD，* AC，* LD，常数	IW，QW，MW，SMW，VW，SW，LW，AC，* VD，* AC，* LD，常数	ID，QD，MD，SMD，VD，SD，LD，AC，* VD，* AC，* LD，常数	ID，QD，MD，SMD，VD，SD，LD，AC，* VD，* AC，* LD，常数	（字符）VB、LB，* VB，* LD，* AC

使用说明：

① 数据比较运算符有 = 、 < 、 < = 、 > 、 > = 和 < > 六种指令格式，字符比较运算符只有 = 和 < > 两种指令格式。

② 字整数比较指令，梯形图是 I，语句表是 W。

③ 数据比较 IN1、IN2 操作数的寻址范围为 I、Q、M、SM、V、S、L、AC、VD、LD 和常数。

字节比较用于比较两个字节型整数值 IN1 和 IN2 的大小，字节比较是无符号的。整数比较用于比较两个一个字长的整数值 IN1 利 IN2 的大小，整数比较是有符号的，其范围是 16#80000000 ~ 16#7FFFFFFF。

实数比较用于比较两个以双字长整数值 INl 和 IN2 的大小。它们的比较也是有符号的，其范围为 －1.174494E －38 ~ －3.402823E ＋38，正实数范围 ＋1.174494E －38 ~ ＋3.402823E ＋38。

字符串比较用于比较两个字符串数据是否相同。字符串的长度不能超过 244 个字符。

2）数据比较的梯形图程序

前述初始化程序中的数据比较，可以通过图 4-74 中的梯形图程序来完成。

3）其他几种数据比较指令的编程举例

其他几种数据比较指令的编程举例，见表 4-38。

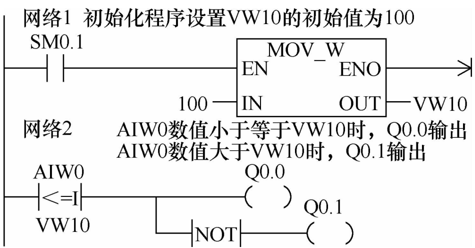


图 4-74　数据比较的梯形图程序

表 4-38　其他几种数据比较指令的编程举例

程　序	说　明
IB0 ─|<=B|─ MB1 ─(S) Q0.0, 1	当 IBO 的数据小于等于 MB1 中的数据时，使 Q0.0 置位
MW10 ─|<>I|─ VW10 ─(R) M0.0, 1	当 MW10 中的数据不等于 VW10 中的数据时，使 M0.0 复位
QD0 ─|>=D|─ MD10 ─(R) M0.0, 1	当 QD0 中的数据大于等于 MD10 中的数据时，使 M0.0 复位
MD10 ─|<R|─ AC0 ─(R) M0.0, 1	当 MD10 中的数据小于 AC0 中的数据时，使 M0.0 复位
VB0 ─|<>S|─ VB10 ─(R) M0.0, 1	当 VB0 中的字符串不等于 VB10 中的字符串时，使 M0.0 复位

注意在尝试使用比较指令之前，要给相应的变量赋值。

4）数据比较的应用实例

实例 1：用定时器和数据比较指令组成占空比可调的脉冲时钟

M0. 0 和 100ms 定时器 T37 组成脉冲发生器，数据比较指令用来产生宽度可调的方波，脉宽的调整由数据比较指令的第二个操作数实现。其梯形图程序和脉冲波形，如图 4-75 所示。

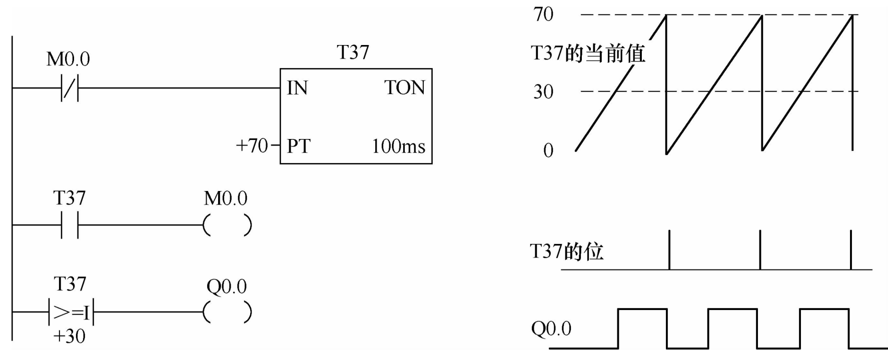


图 4-75　占空比可调的脉冲发生器

实例 2：模拟调整电位器的应用梯形图程序

调整模拟调整电位器 0，改变 SMB28 字节数值。实现：当 SMB28 数值小于或等于 50 时，Q0. 0 输出；当 SMB28 数值在 50 和 150 之间时，Q0. 1 输出；当 SMB28 数值大于等于 150 时，Q0. 2 输出。其梯形图程序如图 4-76 所示。

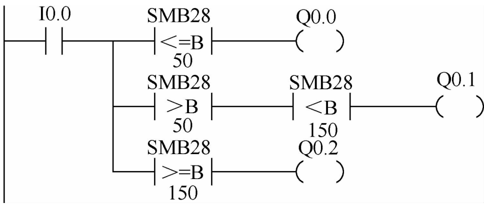


图 4-76　调整模拟调整电位器 0 的梯形图程序

实例 3：三台电动机分时起动控制应用梯形图程序

控制要求：按下起动按钮后，三台电动机每隔 2s 分别依次起动；按下停止按钮，三台电动机每隔 2s 后依次停止。

首先进行 I/O 口地址分配，其 I/O 口地址分配，见表 4-39。

表 4-39　三台电动机分时起动控制的 I/O 口地址分配

输入 PLC 地址	说　明	输出 PLC 地址	说　明
I0. 0	起动按钮	Q0. 0	电动机 1
I0. 1	停止按钮	Q0. 1	电动机 2
		Q0. 2	电动机 3

根据控制要求，利用比较指令，编写出三台电动机分时起动控制应用梯形图程序，如图 4-77 所示。

（14）数据的移位指令

在实际的控制过程中，可能会遇到数据的移位控制。比如制作一个彩灯控制器，要求是：8 个彩灯由左向右以 1s 的速度依次点亮，保持任意时刻只有一个彩灯亮；到达最右端后再由左向右以 1s 的速度依次点亮，如此循环；按下停止按钮后，彩灯循环停止。如何实现？数据的移位指令提供了更加简捷的方法。

1）移位指令

移位指令的作用是将存储器中的数据按要求进行移位。在控制系统中可用于数据的处理、跟踪、步进控制等。

移位指令分为左/右移位、循环左/右移位、寄存器移位 3 类。前两类移位指令按移位数据的长度又分为字节型、字型、双字型 3 种。移位指令最大移位位数 N 小于、等于数据类型对应的位数。N 为字节型数据。

移位指令格式及功能，见表 4-40 和表 4-41。

使用说明：

① 对左移位指令，使能输入有效时，将输入的无符号数字节、字或双字左移 N 位后，移出位自动补 0，将结果输出到 OUT 指定的存储单元中。如果移位次数大于 0，最后一次移出位保存在溢出存储器位 SM1. 1。如果移位结果为 0，零标识位 SM1. 0 置 1。

② 对右移位指令，使能输入有效时，将输入的无符号数字节、字或双字左移 N 位后，移出位自动补 0，将结果输出到 OUT 指定的存储单元中。最后一次移出位保存在 SM1. 1。

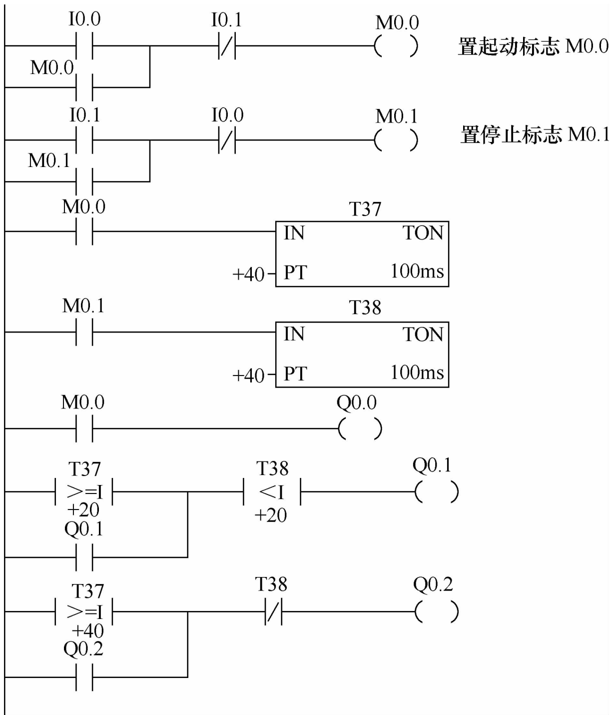


图 4-77　三台电动机分时起动控制应用梯形图程序

表 4-40　移位指令的类型

名　　称	指　令　格　式		功　能　描　述
	LAD	STL	
右移指令	SHR □ EN ENO IN N OUT	SR□ OUT，N	把字节型（字型或双字型）输入数据 IN 右移 N 位后，再将结果输出到 OUT 所指的字节（字或双字）存储单元
左移指令	SHL □ EN ENO IN N OUT	SL□ OUT，N	把字节型（字型或双字型）输入数据 IN 左移 N 位后，再将结果输出到 OUT 所指的字节（字或双字）存储单元
循环右移指令	ROR □ EN ENO IN N OUT	RR□ OUT，N	把字节型（字型或双字型）输入数据 IN 循环右移 N 位后，再将结果输出到 OUT 所指的字节（字或双字）存储单元

（续）

名　　称	指　令　格　式		功　能　描　述
	LAD	STL	
循环左移指令	ROL □ EN　ENO IN N　OUT	RL□ OUT，N	把字节型（字型或双字型）输入数据 IN 循环左移 N 位后，再将结果输出到 OUT 所指的字节（字或双字）存储单元
寄存器移位指令 （Shift Register）	SHRB EN　ENO DATA S_BLT N	SHRB DATA，S _ BIT，N	该指令在梯形图中有 3 个数据输入端，即 DATA 为数值输入，将该位的值移入移位寄存器；S _ BIT 为移位寄存器的最低位端；N 指定移位寄存器的长度。每次使能输入有效时，在每个扫描周期内，整个移位寄存器移动一位

表 4-41　移位指令格式及功能

梯形图程序	语句表程序	说　　明
SHL_B: EN ENO / IN OUT / N SHL_W: EN ENO / IN OUT / N SHL_DW: EN ENO / IN OUT / N	SLB OUT,N SLW OUT,N SLD OUT,N	字节、字、双字左移位指令
SHR_B: EN ENO / IN OUT / N SHR_W: EN ENO / IN OUT / N SHR_DW: EN ENO / IN OUT / N	SRB OUT,N SRW OUT,N SRD OUT,N	字节、字、双字右移位指令
ROL_B: EN ENO / IN OUT / N ROL_W: EN ENO / IN OUT / N ROL_DW: EN ENO / IN OUT / N	RLB OUT,N RLW OUT,N RLD OUT,N	字节、字、双字循环左移位指令
ROR_B: EN ENO / IN OUT / N ROR_W: EN ENO / IN OUT / N ROR_DW: EN ENO / IN OUT / N	RRB OUT,N RRW OUT,N RRD OUT,N	字节、字、双字循环右移位指令
SHRB: EN ENO / DATA / S_BIT / N	SHRB DATA, S _ BIT,N	移位寄存器

③ 对循环移位指令，将输入 IN 中的各位向左或向右循环移动 N 位后，送给输出 OUT。循环移位是环形的，即被移出来的位将返回到另一端空出来的位置。移出来的最后一位的数值放在溢出存储器位 SM1. 1。

④ 对移位寄存器指令，SHRB 是移位长度可调的移位指令，将从 DATA 端输入的二进制数值移入移位寄存器中。S _ BIT 为寄存器的最低位地址。字节型变量 N 为移位寄存器的长度（1 ~ 64），N 为正值时表示左移位，输入数据（DATA）移入移位寄存器的最低位（S _ BIT），并移出移位寄存器的最高位，移出的数据被放置在溢出内存位（SM1. 1）中。N 为负值时表示右移位，输入数据移入移位寄存器的最高位中，并移出最低位（S _ BIT），移出的数据被放置在溢出内存位（SM1. 1）中。

2）彩灯控制器的实现

8 个彩灯分别接在 Q0. 0 ~ Q0. 7 上。可以采用字节的循环移位指令进行循环移位控制。置彩灯的初始状态为 QB0 = 1，即左边的第一盏彩灯亮；接着彩灯由左向右以 1s 的速度移次点亮，即要求字节 QB0 中的“1”用循环左移位指令每隔 1s 钟移动一位，因此需在 ROL _ B 指令的 EN 端接一个 1s 的移位脉冲。其彩灯控制器的梯形图程序，如图 4-78 所示。

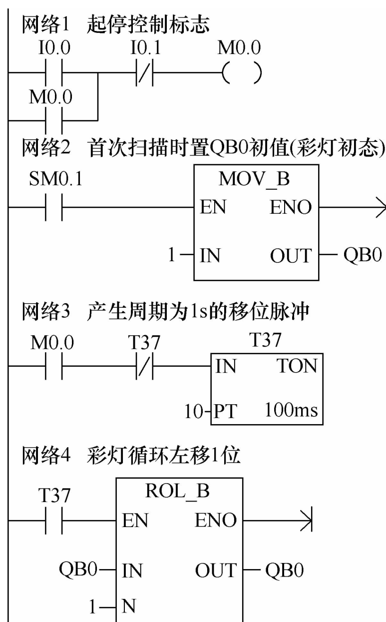


图 4-78　8 彩灯控制器的梯形图程序

3）移位指令编程举例

①SHL _ W 指令编程举例，见表 4-42。

表 4-42　SHL _ W 指令编程举例

梯形图程序	I0.0 ─┤ ├─┤P├─ SHL_W（EN, ENO; VW0─IN, OUT─VW0; 3─N）；ROR_W（EN, ENO; VW1─IN, OUT─VW1; 3─N）	
说明	VW0移位之前：1110 0010 1010 1101　SM1.1：x 第1次移位之后：1100 0101 0101 1010　→ 1 第2次移位之后：1000 1010 1011 0100　→ 1 第3次移位之后：0001 0101 0110 1000　→ 1 VW0左移后，高3位溢出，低3位补0	VW1循环移位之前：0100 0101 0110 0001　SM1.1：x 第1次循环移位之后：1010 0010 1011 0000　→ 1 AC0 第2次循环移位之后：0101 0001 0101 1000　→ 0 AC0 第3次循环移位之后：0010 1000 1010 1100　→ 0 VW1循环右移后，低3位移至高3位

②SHRB 指令编程举例，见表 4-43。

表 4-43 SHRB 指令编程举例

梯形图程序	I0.0 ─┤ ├─┤P├─ SHRB（EN ENO）；I0.1─DATA；M10.0─S_BIT；4─N
说明	正跳变 (P)；I0.1；第1次移位；MSB7；第2次移位；LSB0 第一次移位前 MB10 [0 1 0 1] ← S_BIT I0.1；溢出位 (SM1.1) [x] 第一次移位后 MB10 [1 0 1 1] ← S_BIT I0.1；溢出位 (SM1.1) [0] 第二次移位后 MB10 [0 1 1 0] ← S_BIT I0.1；溢出位 (SM1.1) [1]

4）数据的移位指令应用实例

实例 1：用 I0.0 控制 16 个彩灯循环移位，由左向右以 2s 的速度依次 2 个为一组点亮，保持任意时刻只有 2 个彩灯点亮；到达最右端后，再由左向右依次点亮，如此循环；按下停止按钮后，彩灯循环停止。

16 个彩灯分别接在 Q0.0 ~ Q1.7 上。可以采用字节的循环移位指令，进行循环移位控制。置彩灯的初始状态为 QB0 =3，即左边的第 1、2 盏彩灯亮；接着彩灯由左向右以 2s 的速度依次点亮，即要求字节 QB0 中的“11”用循环左移位指令每隔 2s 钟移动一位，因此需在 ROL _ B 指令的 EN 端接一个 1s 的移位脉冲。其彩灯控制器的梯形图程序，如图 4-79 所示。

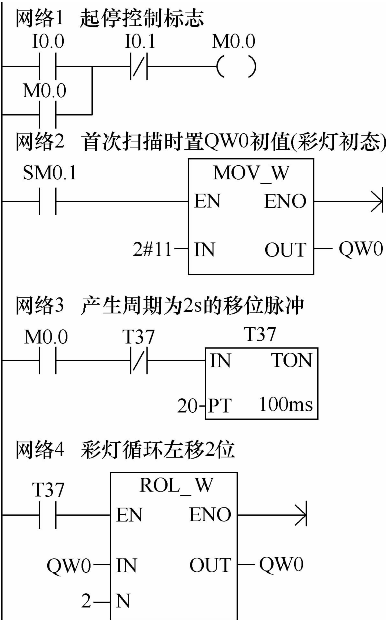


图 4-79 16 彩灯循环控制梯形图程序

实例 2：用 PLC 构成对喷泉的控制。喷泉的 12 个喷水柱用 L1 ~ L12 表示，喷水柱的布局如图 4-80 所示。控制要求：按下起动按钮后，L1 喷 0.5s 后停；接着 L2 喷 0.5s 后停；接着 L3 喷 0.5s 后停；接着 L4 喷 0.5s 后停；接着 L5、L9 喷 0.5s 后停；接着 L6、L10 喷 0.5s 后停；接着 L7、L11 喷 0.5s 后停；接着 L8、L12 喷 0.5s 后停；又接着第二轮 L1 喷 0.5s 后停；…；如此循环下去，直至按下停止按钮喷泉才停止。

首先进行 PLC 的 I/O 口地址分配。其 I/O 口地址分配，见表 4-44。

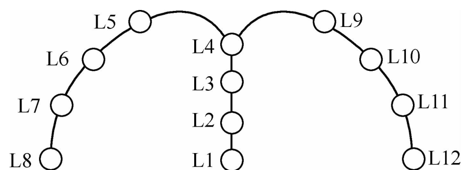


图 4-80　喷泉控制示意图

表 4-44　PLC 的 I/O 口地址分配

输入 PLC 地址	说明	输出 PLC 地址	说明
I0.0	起动按钮	Q0.0 ~ Q0.3	L1 ~ L4
I0.1	停止按钮	Q0.4	L5、L9
		Q0.5	L6、L10
		Q0.6	L7、L11
		Q0.7	L8、L12

根据控制要求，利用移位寄存器指令，编写出喷泉控制的梯形图程序，如图 4-81 所示。在移位寄存器指令 SHRB 中，EN 连接移位脉冲 T37，每来一个脉冲上升沿，移位寄存器移动一位。M10.0 为数据输入端 DATA。按照控制要求，每次只有一个输出，因此只需要在第一个移位脉冲到来时由 M10.0 送入移位寄存器 S_BIT 位（Q0.0）一个“1”，第 2 个脉冲至第 8 个脉冲到来时由 M10.0 送入 Q0.0 的值均位“0”，这在程序中由定时器 T38 延时 0.5s 导通一个扫描周期实现；第 8 个脉冲到来时 Q0.7 置位为“1”，同时通过与 T38 并联的 Q0.7 常开触点使 M10.0 置位为“1”；第 9 个脉冲到来时由 M10.0 送入 Q0.0 的值又为“1”，如此循环下去，直至按下停止按钮才停止。

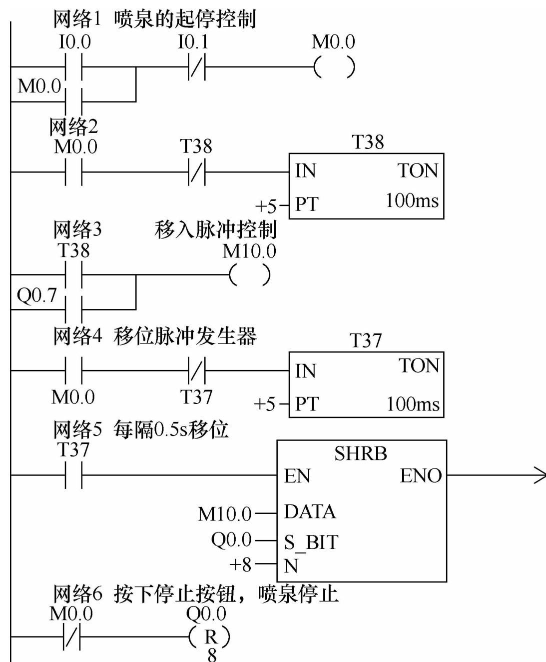


图 4-81　喷泉控制的梯形图程序

2. S7-200 系列 PLC 的顺控步进指令

顺序控制是指生产过程按工艺要求事先安排的顺序自动地进行控制。顺序功能图（SFC）用于编制顺控程序，这些梯形图更直观，也为越来越多的电气技术人员所接受。现在大多数 PLC 上都有顺序控制指令，使用时非常方便。在中小型 PLC 程序设计时，通常首先根据控制要求设计出功能流程图，然后将其转化成梯形图或语句表。在大型或中型 PLC 中可直接用功能图进行编程。

（1）功能图的基本概念及顺序控制指令

1）状态转移图。状态转移图也称功能图。将一个控制过程可以分为若干个阶段，这些阶段称为状态。状态与状态之间由转换条件分隔。相邻的状态具有不同的动作。当相邻两状态之间的转换条件得到满足时，就实现转换。即上面状态的动作结束而下一状态的动作开始。可用状态转移图描述控制系统的控制过程。状态转移图具有直观、简单的特点，是设计 PLC 顺序控制程序的一种有力工具。

状态器的软元件是构成状态转移图的基本元件。S7-200 系列 PLC 状态器用 S 表示，每一个 S 位都表示功能图中的一种状态，状态器的位范围为 S0.0 ~ S31.7。

图 4-82 是一个简单状态转移实例。状态器用框图表示。框内是状态器元件号，旁边的框信息是每一步输出信号执行的内容，双线框为初始状态，单线框为正常工作状态。对于单序列流程图任意时刻只有一个状态器在运行。

绘制控制系统功能图必须满足以下条件：

① 状态与状态不能相连，必须用转移条件分开。

② 状态器之间用有向线段连接，其中从上到下的箭头可以省去不画，有向线段上的垂直短线和它旁边标注的文字符号或逻辑表达式表示状态转移条件。当某个状态处于动作状态，并且转移条件满足时，系统从当前状态转移到下一个状态。

③ 一个功能图至少有一个初始状态。在图 4-82 中，状态器 S0.0 有效时，当操作者按下起动按钮，程序从初始状态 S0.0 转移到 S0.1 运行，执行减压起动过程；当起动完毕，起动时间到，从 S0.1 状态转移到 S0.2 状态，执行全压运行；某个时刻按下停止按钮，从 S0.2 状态转移回到 S0.0，等待下一轮的工作。

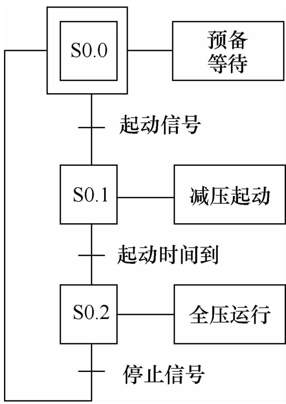


图 4-82　电动机减压起动流程图

2）S7-200 顺序控制指令。顺序控制指令是 PLC 生产厂家为用户提供的可使功能图编程简单化和规范化的指令。顺序控制指令格式如表 4-45 所示。

表 4-45　顺序控制指令格式

指令名称	梯形图	STL
段开始指令 LSCR	??.? SCR	LSCR Sx. y
段转移指令 SCRT	??.? (SCRT)	SCRT Sx. y
段结束指令 SCRE	(SCRE)	SCRE

SCR 指令包括 LSCR（程序段的开始）、SCRT（程序段的转移）、SCRE（程序段的结束）指令，从 LSCR 开始到 SCRE 结束的所有指令组成一个 SCR 程序段。一个 SCR 程序段对应顺序功能图中的一个顺序步。LSCR 指令标记一个 SCR 段的开始，当该段的状态器置位时，允许该 SCR 段工作。SCR 段必须用 SCRE 指令结束。当 SCRT 指令的输入端有效时，一方面置位下一个 SCR 段的状态器，使下一个 SCR 段开始工作；另一方面又同时使该段的状态器复位，使该段停止工作。因此，每一个 SCR 程序段中均包括 3 个内容：

① 输出驱动。在该段状态器有效时，可以输出信号驱动负载；也可以不输出信号，不执行任何内容。

② 转换条件。满足条件后，实现 SCR 程序段的转移。

③ 转换目标。状态发生转换后，置位下一个状态的同时，自动复位原状态。

（2）功能图的基本类型

1）单流程。单流程功能图是动作一个接一个地完成，某一状态转移到下一状态后，前一状态自动复位。每个状态仅连接一个转移，每个转移也仅连接一个状态。如图 4-83 为单流程的顺序控制功能图举例，图 4-84 为其梯形图。

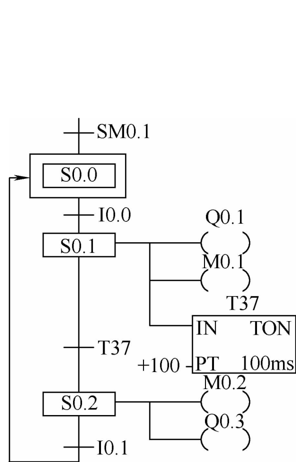


图 4-83　单流程顺序控制功能图

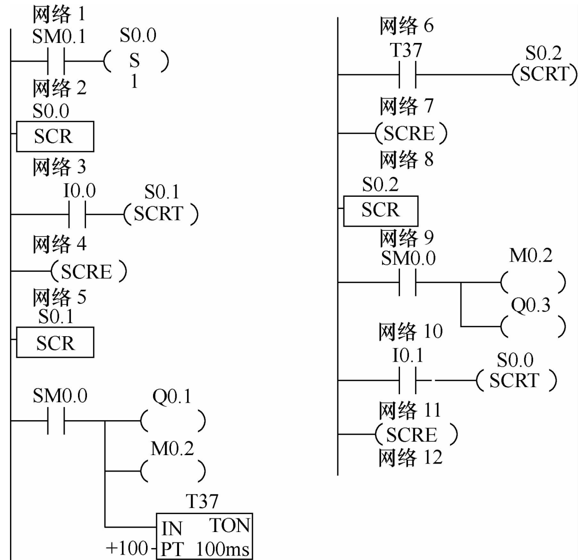


图 4-84　单流程顺序控制功能图的梯形图

以下是图 4-84 梯形图对应的语句表程序：

```
LD      SM0. 1
S       S0. 0, 1        //在初始化脉冲下起动，置 S0. 0 = 1
LSCR    S0. 0           //S0. 0 = 1，激活第一个 SCR 程序段
LD      I0. 0
SCRT    S0. 1           //满足 I0. 0 = 1，转移到程序段 S0. 1
SCRE                    //结束第一个 SCR 程序段
LSCR    S0. 1           //S0. 1 = 1，激活第二个程序段
LD      SM0. 0
=       Q0. 1
=       M0. 1
TON     T37, +100       //起动 M0. 1、Q0. 2、T37
LD      T37
SCRT    S0. 2           //T37 延时到，激活第三个程序段
SCRE                    //结束第二个 SCR 程序段
LSCR    S0. 2           //S0. 2 = 1，激活第三个程序段
LD      SM0. 0
```

```
=       M0.2
=       Q0.3
LD      I0.1
SCRT    S0.0
SCRE
```

2）可选择的分支与汇合。在生产实际中，对具有多流程的工作要进行流程选择或者分支选择。即一个控制流可转入多个可能的控制流中的某一个，但不允许多路分支同时执行。到底执行哪一个分支，取决于控制流前面的转移条件。

图 4-85 是可选择的分支与汇合的功能图和梯形图。

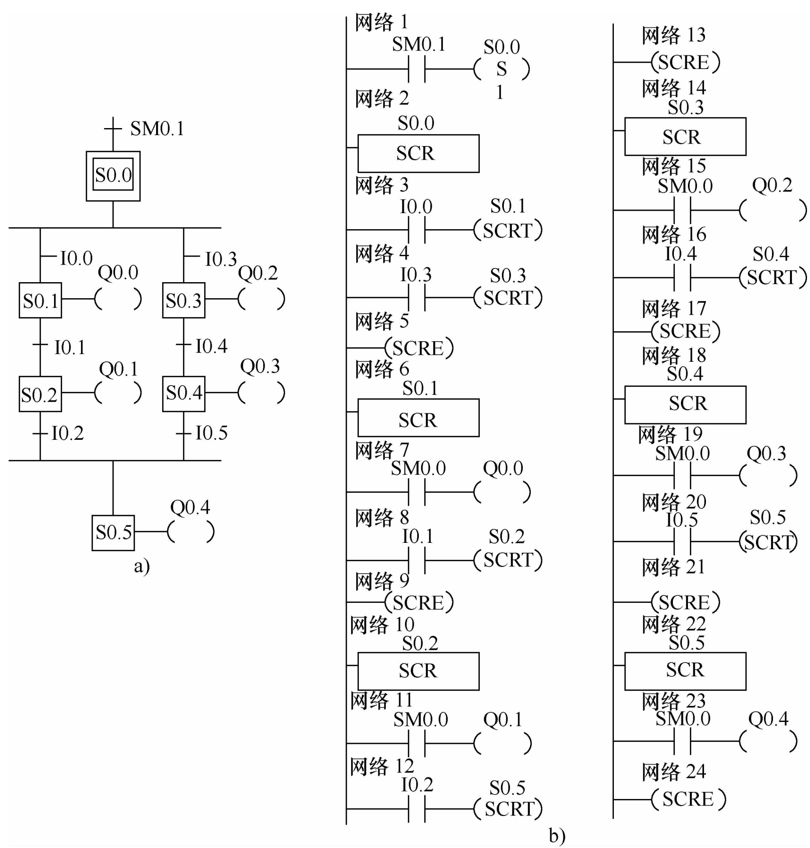


图 4-85　可选择的分支与汇合的功能图和梯形图

a）功能图　b）梯形图

分支选择条件 I0.0 和 I0.1 不能同时接通。在状态器 S0.0 时，根据 I0.0 和 I0.1 的状态决定执行哪一条分支。当状态器 S0.1 或 S0.3 接通时，S0.0 自动复位。状态器 S0.5 由 S0.2 或 S0.4 置位，同时，前一状态器 S0.2 或 S0.4 自动复位。

3）并行分支和联接。在许多实例中，一个顺序控制状态流必须分成两个或多个不同分支控制状态流。当一个控制状态流分成多个分支时，所有的分支控制状态流必须同时激活，

在所有的分支控制流都完成后，才能进行并行分支的汇合。在转移条件满足时，并行分支汇合转移到下一个状态。并行分支一般用双水平线表示，结束时也用双水平线表示。

图 4-86 是并行的分支与汇合的功能图和梯形图。

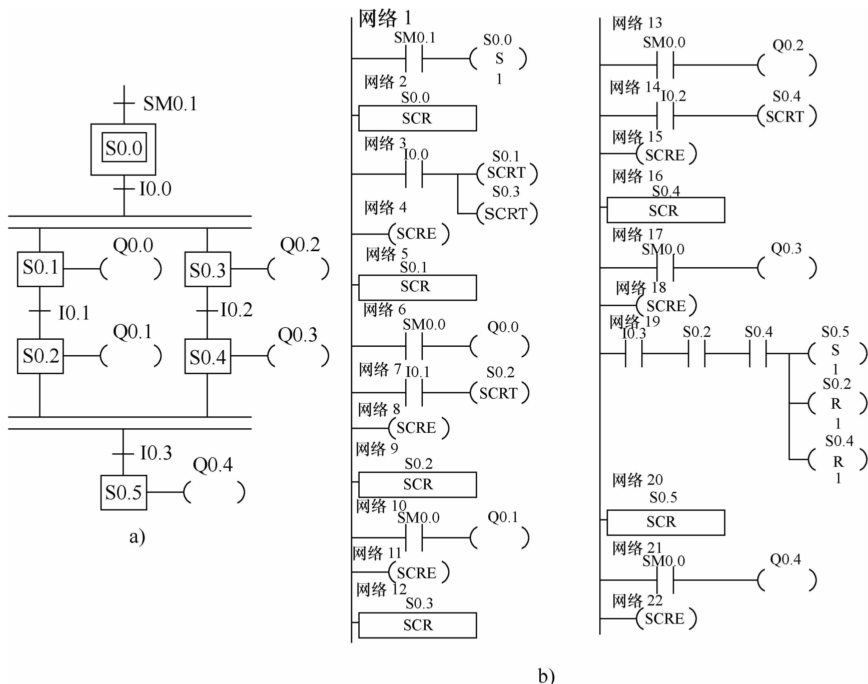


图 4-86　并行的分支与汇合的功能图和梯形图
a）功能图　b）梯形图

当转换条件 I0. 0 接通时，由状态器 S0. 0 分两路同时转入状态器 S0. 1 和 S0. 3，完成新状态的起动。在状态 S0. 2 和 S0. 4 的 SCR 程序段中，由于没有使用 SCRT 指令，所以 S0. 2 和 S0. 4 的复位不能自动进行，最后要用复位指令对其进行复位。这种处理方法在并行分支的联接合并时会经常用到，而且在并行分支联接合并前的最后一个状态往往是“等待”过渡状态。它们要等待所有并行分支都为“真”后一起转移到新的状态。这时的转移条件永远为“真”，而这些“等待”状态不能自动复位，它们的复位就要使用复位指令来完成。

（3）顺序控制指令应用举例

1）机械手运动控制

下面以图 4-87 所示的机械手为例，进一步说明单流程功能图。机械手将工件从 A 点向 B 点移送。机械手的上升、下降与左移、右移都是由双线圈两位电磁阀驱动气缸来实现的。抓手对物件的松开、夹紧是由一个单线圈两位电磁阀驱动气缸完成，只有在电磁阀通电时抓手才能夹紧。该机械手工作原点在左上方，按照“下降→夹紧→上升→右移→下降→松开→上升→左移”的顺序依次运行。

图 4-87　机械手工作过程示意图

其输入/输出点的地址分配见表 4-46。

表 4-46　输入/输出点的地址分配

输　入　信　号		输　出　信　号	
起动按钮 SB1	I0.0	原始位置指示灯 HL	Q0.0
停止按钮 SB2	I0.5	下行电磁阀	Q0.1
下限位开关 LS1	I0.1	上行电磁阀	Q0.2
上限位开关 LS2	I0.2	右行电磁阀	Q0.3
右限位开关 LS3	I0.3	左行电磁阀	Q0.4
左限位开关 LS4	I0.4	夹紧电磁阀	Q0.5

按照其工作过程画出的机械手自动运行方式的功能图和梯形图如图 4-88 所示。

S0.0 为初始状态，用双线框表示。当辅助继电器 M1.0 和 Q0.0 接通时，状态从 S0.0 向 S0.1 转移，下降输出 Q0.0 动作。当下限位开关 I0.1 接通时，状态 S0.1 向 S0.2 转移，下降输出 Q0.0 切断，夹紧输出 Q0.1 接通并保持。同时起动定时器 T37。5s 后定时器 T37 的接点动作，转至状态 S0.3，上升输出 Q0.2 动作。当上升限位开关 I0.2 动作时，右移输出 Q0.3 动作。当右移限位开关 I0.3 接通，转至 S0.4 状态，下降输出 Q0.0 再次动作。当下降限位开关 I0.1 又接通时，状态转移至 S0.5，使输出 Q0.1 复位，即夹钳松开，同时起动定时器 T38。3s 之后状态转移到 S0.6，上升输出 Q0.2 动作。到上限位开关 I0.2 接通，状态转移至 Q0.7，左移输出 Q0.4 动作，到达左限位开关 I0.4 接通，状态返回 S0.0，在没有按下停止按钮时，又进入下一个循环，直到按下停止按钮为止。

2） 十字路口交通灯控制

下面以图 4-89 所示的十字路口交通灯控制为例，进一步说明双流程功能图。其控制要求如图 4-90 所示。

① 接通起动按钮后，信号灯开始工作，东西方向红灯、南北方向绿灯同时亮。

② 南北方向绿灯亮 25s 后，闪烁 3s，接着南北方向黄灯亮，2s 后南北方向红灯亮，30s 后南北方向绿灯又亮，…，如此不断循环，直至停止工作。

③ 东西方向红灯亮 30s 后，东西方向绿灯亮，25s 后东西方向绿灯闪烁 3s，接着东西方向黄灯亮，2s 后东西方向红灯又亮，…，如此不断循环，直至停止工作。

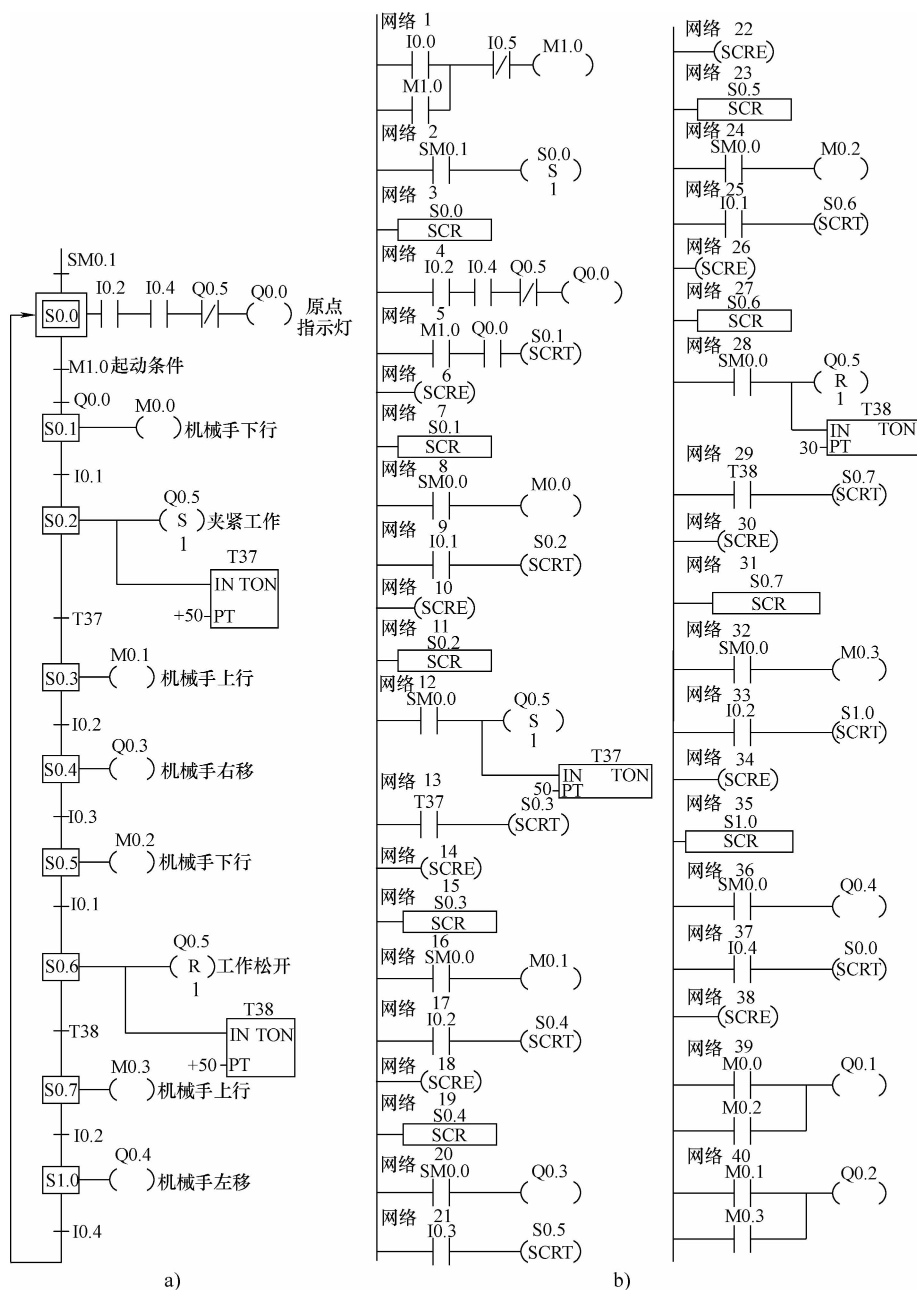


图 4-88 机械手自动运行方式的功能图和梯形图

a）功能图 b）梯形图

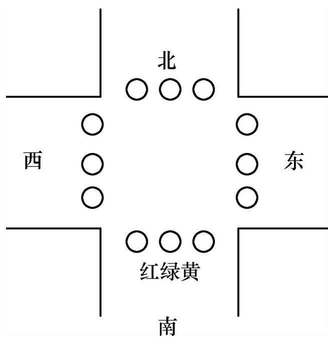


图 4-89　交通信号灯设置示意图

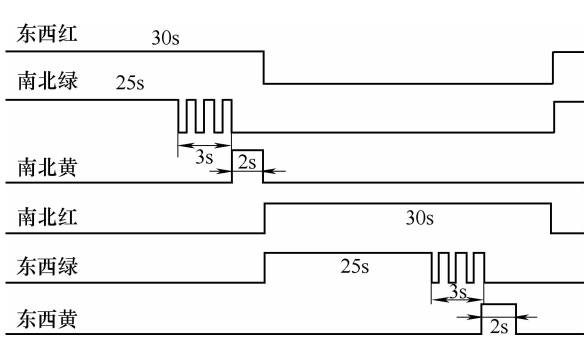


图 4-90　交通信号灯时序图

I/O 分配表见表 4-47。

表 4-47　I/O 分配表

输 入 信 号		输 出 信 号	
起动按钮 SB1	I0. 0	东西红灯 HL1、HL2	Q0. 1
		东西绿灯 HL3、HL4	Q0. 2
		东西黄灯 HL5、HL6	Q0. 3
停止按钮 SB2	I0. 0	南北绿灯 HL7、HLS	Q0. 4
		南北黄灯 HL9、HL10	Q0. 5
		南北红灯 HL11、HL12	Q0. 6

在上表中，东西红灯 HL1、HL2，东西绿灯 HL3、HL4，东西黄灯 HL5、HL6，南北绿灯 HL7、HL8，南北黄灯 HL9、HL10，南北红灯 HL11、HL12 并联后共用一个输出点，这样可以选用 CPU22 即可。

程序设计：根据交通信号灯时序图设计顺序功能图，该顺序功能图采用并列序列结构，如图 4-91 所示，其梯形图如图 4-92 所示。

3. S7-200 系列 PLC 功能指令的归纳列表

一般的逻辑控制系统用软继电器、定时器、计数器及基本指令就可以实现。利用功能指令可以开发出更复杂的控制系统，以至构成网络控制系统。这些功能指令实际上是厂商为满足各种客户的特殊需要而开发的通用子程序。功能指令的丰富程度及其合用的方便程序是衡量 PLC 性能的一个重要指标。

S7-200 的功能指令很丰富，包括算术与逻辑运算、传送、移位与循环移位、程序流控制、数据表处理、PID 指令、数据格式变换、高速处理、通信以及实时时钟等。

功能指令的助记符与汇编语言相似，略具计算机知识的人学习起来也不会有太大困难。但 S7-200 系列 PLC 功能指令必竟太多，一般读者不必准确记忆其详尽用法，需要时可查阅产品手册。这里仅对 S7-200 系列 PLC 的功能指令作列表归纳，不再一一说明。

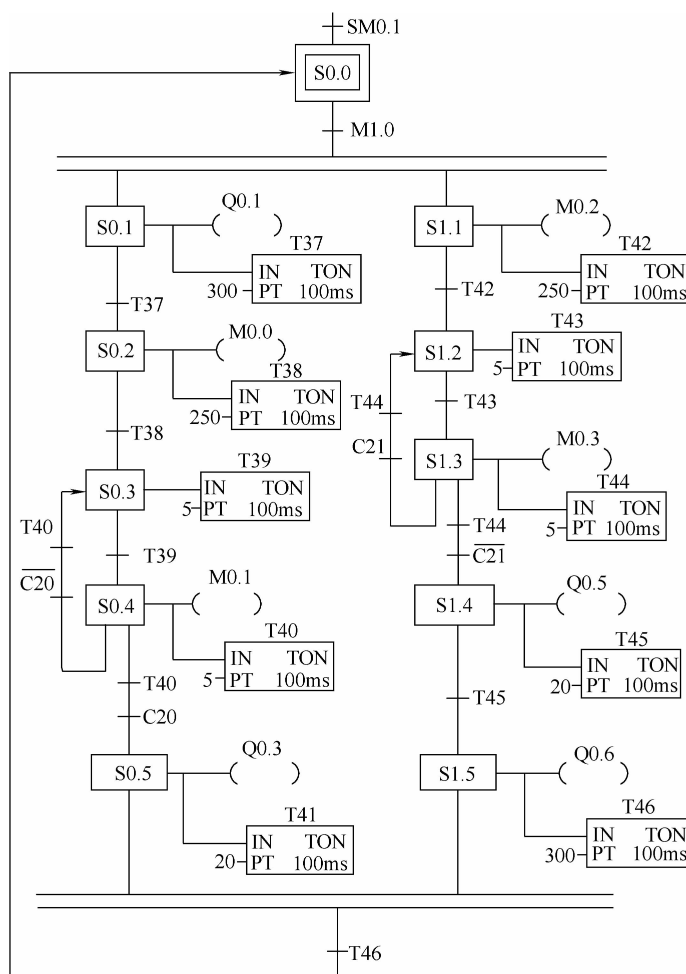


图 4-91　交通信号灯控制功能图

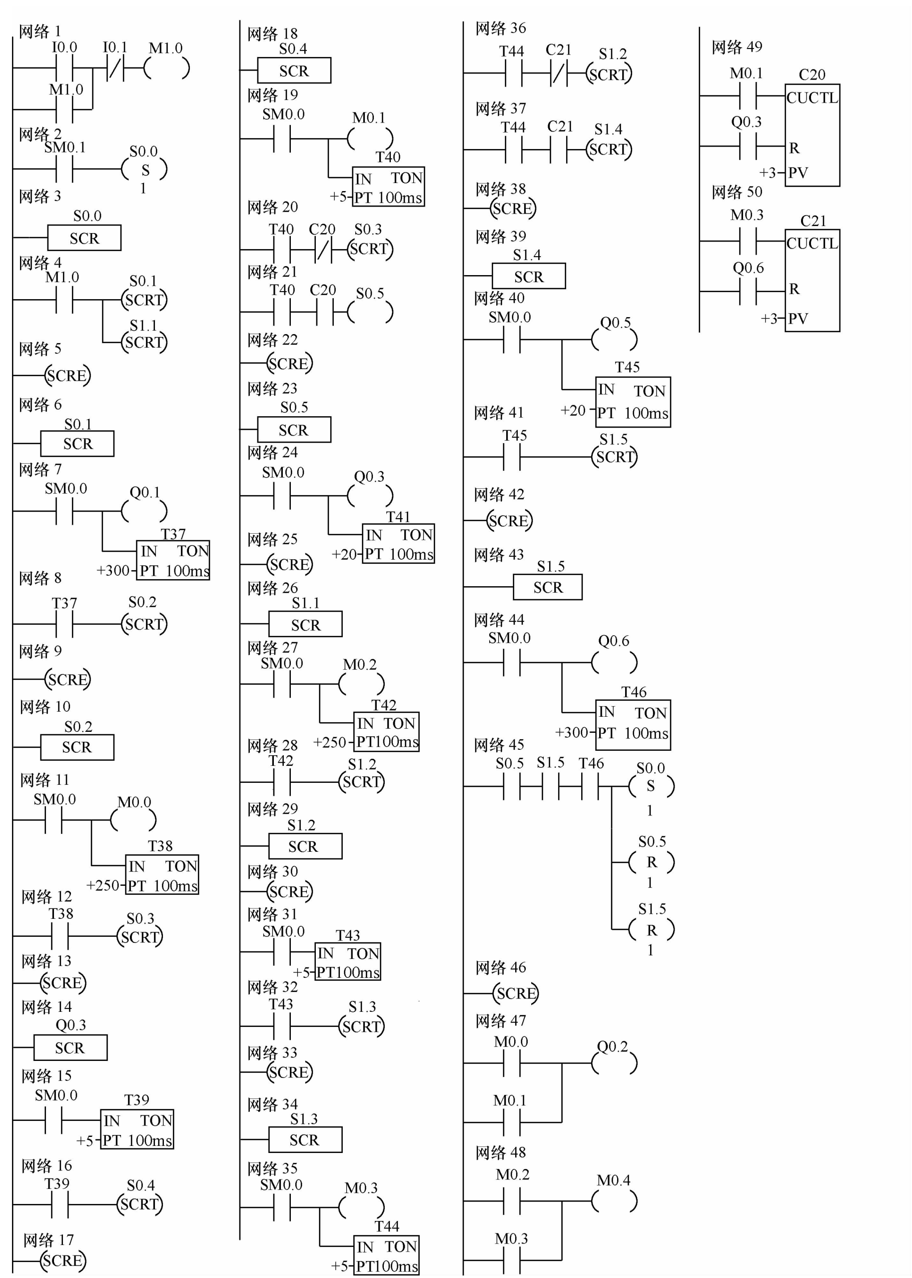


图 4-92　交通信号灯控制梯形图

（1）四则运算指令

四则运算指令见表 4-48。

表 4-48　四则运算指令

名　　称	指令格式（语句表）	功　　能	操作数寻址范围
加法指令	+I IN1，OUT	两个 16 位带符号整数相加，得到一个 16 位带符号整数 执行结果：IN1 + OUT = OUT（在 LAD 和 FBD 中为 IN1 + IN2 = OUT）	IN1，IN2，OUT：VW，IW，QW，MW，SW，SMW，LW，T，C，AC，*VD，*AC，*LD IN1 和 IN2 还可以是 AIW 和常数
	+D IN1，IN2	两个 32 位带符号整数相加，得到一个 32 位带符号整数 执行结果：IN1 + OUT = OUT（在 LAD 和 FBD 中为 IN1 + IN2 = OUT）	IN1，IN2，OUT：VD，ID，QD，MD，SD，SMD，LD，AC，*VD，*AC，*LD IN1 和 IN2 还可以是 HC 和常数
	+R IN1，OUT	两个 32 位实数相加，得到一个 32 位实数 执行结果：IN1 + OUT = OUT（在 LAD 和 FBD 中为 IN1 + IN2 = OUT）	IN1，IN2，OUT：VD，ID，QD，MD，SD，SMD，LD，AC，*VD，*AC，*LD IN1 和 IN2 还可以是常数
减法指令	-I IN1，OUT	两个 16 位带符号整数相减，得到一个 16 位带符号整数 执行结果：OUT - IN1 = OUT（在 LAD 和 FBD 中为 IN1 - IN2 = OUT）	IN1，IN2，OUT：VW，IW，QW，MW，SW，SMW，LW，T，C，AC，*VD，*AC，*LD IN1 和 IN2 还可以是 AIW 和常数
	-D IN1，OUT	两个 32 位带符号整数相减，得到一个 32 位带符号整数 执行结果：OUT - IN1 = OUT（在 LAD 和 FBD 中为 IN1 - IN2 = OUT）	IN1，IN2，OUT：VD，ID，QD，MD，SD，SMD，LD，AC，*VD，*AC，*LD IN1 和 IN2 还可以是 HC 和常数
	-R IN1，OUT	两个 32 位实数相减，得到一个 32 位实数 执行结果：OUT - IN1 = OUT（在 LAD 和 FBD 中为 IN1 - IN2 = OUT）	IN1，IN2，OUT：VD，ID，QD，MD，SD，SMD，LD，AC，*VD，*AC，*LD IN1 和 IN2 还可以是常数
乘法指令	*I IN1，OUT	两个 16 位符号整数相乘，得到一个 16 整数 执行结果：IN1 * OUT = OUT（在 LAD 和 FBD 中为 IN1 * IN2 = OUT）	IN1，IN2，OUT：VW，IW，QW，MW，SW，SMW，LW，T，C，AC，*VD，*AC，*LD IN1 和 IN2 还可以是 AIW 和常数
	MUL IN1，OUT	两个 16 位带符号整数相乘，得到一个 32 位带符号整数 执行结果：IN1 * OUT = OUT（在 LAD 和 FBD 中为 IN1 * IN2 = OUT）	IN1，IN2：VW，IW，QW，MW，SW，SMW，LW，AIW，T，C，AC，*VD，*AC，*LD 和常数 OUT：VD，ID，QD，MD，SD，SMD，LD，AC，*VD，*AC，*LD
	*D IN1，OUT	两个 32 位带符号整数相乘，得到一个 32 位带符号整数 执行结果：IN1 * OUT = OUT（在 LAD 和 FBD 中为 IN1 * IN2 = OUT）	IN1，IN2，OUT：VD，ID，QD，MD，SD，SMD，LD，AC，*VD，*AC，*LD IN1 和 IN2 还可以是 HC 和常数
	*R IN1，OUT	两个 32 位实数相乘，得到一个 32 位实数 执行结果：IN1 * OUT = OUT（在 LAD 和 FBD 中为 IN1 * IN2 = OUT）	IN1，IN2，OUT：VD，ID，QD，MD，SD，SMD，LD，AC，*VD，*AC，*LD IN1 和 IN2 还可以是常数

（续）

名　称	指令格式（语句表）	功　能	操作数寻址范围
除法指令	/I IN1，OUT	两个16位带符号整数相除，得到一个16位带符号整数商，不保留余数 执行结果：OUT/IN1 = OUT（在LAD和FBD中为IN1/IN2 = OUT）	IN1，IN2，OUT：VW，IW，QW，MW，SW，SMW，LW，T，C，AC，*VD，*AC，*LD IN1和IN2还可以是AIW和常数
	DIV IN1，OUT	两个16位带符号整数相除，得到一个32位结果，其中低16位为商，商16位为结果 执行结果：OUT/IN1 = OUT（在LAD和FBD中为IN1/IN2 = OUT）	IN1，IN2：VW，IW，QW，MW，SW，SMW，LW，AIW，T，C，AC，*VD，*AC，*LD和常数 OUT：VD，ID，QD，MD，SD，SMD，LD，AC，*VD，*AC，*LD
	/D IN1，OUT	两个32位带符号整数相除，得到一个32位整数商，不保留余数 执行结果：OUT/IN1 = OUT（在LAD和FBD中为IN1/IN2 = OUT）	IN1，IN2，OUT：VD，ID，QD，MD，SD，SMD，LD，AC，*VD，*AC，*LD IN1和IN2还可以是HC和常数
	/R IN1，OUT	两个32位实数相除，得到一个32位实数商 执行结果：OUT/IN1 = OUT（在LAD和FBD中为IN1/IN2 = OUT）	IN1，IN2，OUT：VD，ID，QD，MD，SD，SMD，LD，AC，*VD，*AC，*LD IN1和IN2还可以是常数
数学函数指令	SQRT IN，OUT	把一个32位实数（IN）开平方，得到32位实数结果（OUT）	IN，OUT：VD，ID，QD，MD，SD，SMD，LD，AC，*VD，*AC，*LD IN还可以是常数
	LN IN，OUT	对一个32位实数（IN）取自然对数，得到32位实数结果（OUT）	
	EXP IN，OUT	对一个32位实数（IN）取以e为底数的指数，得到32位实数结果（OUT）	
	SIN IN，OUT	分别对一个32位实数弧度值（IN）取正弦、余弦、正切，得到32位实数结果（OUT）	
	COS IN，OUT		
	TAN IN，OUT		
增减指令	INCB OUT	将字节无符号输入数加1 执行结果：OUT + 1 = OUT（在LAD和FBD中为IN + 1 = OUT）	IN，OUT：VB，IB，QB，MB，SB，SMB，LB，AC，*VD，*AC，*LD IN还可以是常数
	DECB OUT	将字节无符号输入数减1 执行结果：OUT − 1 = OUT（在LAD和FBD中为IN − 1 = OUT）	
	INCW OUT	将字（16位）有符号输入数加1 执行结果：OUT + 1 = OUT（在LAD和FBD中为IN + 1 = OUT）	IN，OUT：VW，IW，QW，MW，SW，SMW，LW，T，C，AC，*VD，*AC，*LD IN还可以是AIW和常数

（续）

名　称	指令格式（语句表）	功　能	操作数寻址范围
增减指令	DECW OUT	将字（16 位）有符号输入数减 1 执行结果：OUT－1＝OUT（在 LAD 和 FBD 中为 IN－1＝OUT）	IN，OUT：VW，IW，QW，MW，SW，SMW，LW，T，C，AC，＊VD，＊AC，＊LD IN 还可以是 AIW 和常数
	INCD OUT	将双字（32 位）有符号输入数加 1 执行结果：OUT＋1＝OUT（在 LAD 和 FBD 中为 IN＋1＝OUT）	IN，OUT：VD，ID，QD，MD，SD，SMD，LD，AC，＊VD，＊AC，＊LD IN 还可以是 HC 和常数
	DECD OUT	将字（32 位）有符号输入数减 1 执行结果：OUT－1＝OUT（在 LAD 和 FBD 中为 IN－1＝OUT）	

（2）逻辑运算指令

逻辑运算指令见表 4-49。

表 4-49　逻辑运算指令

名　称	指令格式（语句表）	功　能	操　作　数
字节逻辑运算指令	ANDB IN1,OUT	将字节 IN1 和 OUT 按位作逻辑与运算，OUT 输出结果	IN1，IN2，OUT：VB，IB，QB，MB，SB，SMB，LB，AC，＊VD，＊AC，＊LD IN1 和 IN2 还可以是常数
	ORB IN1,OUT	将字节 IN1 和 OUT 按位作逻辑或运算，OUT 输出结果	
	XORB IN1,OUT	将字节 IN1 和 OUT 按位作逻辑异或运算，OUT 输出结果	
	INVB OUT	将字节 OUT 按位取反，OUT 输出结果	
字逻辑运算指令	ANDW IN1,OUT	将字 IN1 和 OUT 按位作逻辑与运算，OUT 输出结果	IN1，IN2，OUT：VW，IW，QW，MW，SW，SMW，LW，T，C，AC，＊VD，＊AC，＊LD IN1 和 IN2 还可以是 AIW 和常数
	ORW IN1,OUT	将字 IN1 和 OUT 按位作逻辑或运算，OUT 输出结果	
	XORW IN1,OUT	将字 IN1 和 OUT 按位作逻辑异或运算，OUT 输出结果	
	INVW OUT	将字 OUT 按位取反，OUT 输出结果	
双字逻辑运算指令	ANDD IN1,OUT	将双字 IN1 和 OUT 按位作逻辑与运算，OUT 输出结果	IN1，IN2，OUT：VD，ID，QD，MD，SD，SMD，LD，AC，＊VD，＊AC，＊LD IN1 和 IN2 还可以是 HC 和常数
	ORD IN1,OUT	将双字 IN1 和 OUT 按位作逻辑或运算，OUT 输出结果	
	XORD IN1,OUT	将双字 IN1 和 OUT 按位作逻辑异或运算，OUT 输出结果	
	INVD OUT	将双字 OUT 按位取反，OUT 输出结果	

(3) 数据传送指令

数据传送指令见表4-50。

表4-50　数据传送指令

名　称	指令格式（语句表）	功　能	操　作　数
单一传送指令	MOVB IN,OUT	将IN的内容拷贝到OUT中 IN和OUT的数据类型应相同,可分别为字,字节,双字,实数	IN,OUT:VB,IB,QB,MB,SB,SMB,LB,AC,*VD,*AC,*LD IN还可以是常数
	MOVW IN,OUT		IN,OUT:VW,IW,QW,MW,SW,SMW,LW,T,C,AC,*VD,*AC,*LD IN还可以是AIW和常数 OUT还可以是AQW
	MOVD IN,OUT		IN,OUT:VD,ID,QD,MD,SD,SMD,LD,AC,*VD,*AC,*LD IN还可以是HC,常数,*VB,*IB,*QB,*MB,*T,*C
	MOVR IN,OUT		IN,OUT:VD,ID,QD,MD,SD,SMD,LD,AC,*VD,*AC,*LD IN还可以是常数
	BIR IN,OUT	立即读取输入IN的值,将结果输出到OUT	IN:IB OUT:VB,IB,QB,MB,SB,SMB,LB,AC,*VD,*AC,*LD
	BIW IN,OUT	立即将IN单元的值写到OUT所指的物理输出区	IN:VB,IB,QB,MB,SB,SMB,LB,AC,*VD,*AC,*LD和常数 OUT:QB
块传送指令	BMB IN,OUT,N	将从IN开始的连续N个字节数据拷贝到从OUT开始的数据块 N的有效范围是1～255	IN,OUT:VB,IB,QB,MB,SB,SMB,LB,*VD,*AC,*LD N:VB,IB,QB,MB,SB,SMB,LB,AC,*VD,*AC,*LD和常数
	BMW IN,OUT,N	将从IN开始的连续N个字数据拷贝到从OUT开始的数据块 N的有效范围是1～255	IN,OUT:VW,IW,QW,MW,SW,SMW,LW,T,C,*VD,*AC,*LD IN还可以是AIW OUT还可以是AQW N:VB,IB,QB,MB,SB,SMB,LB,AC,*VD,*AC,*LD和常数
	BMD IN,OUT,N	将从IN开始的连续N个双字数据拷贝到从OUT开始的数据块 N的有效范围是1～255	IN,OUT:VD,ID,QD,MD,SD,SMD,LD,*VD,*AC,*LD N:VB,IB,QB,MB,SB,SMB,LB,AC,*VD,*AC,*LD和常数

（4）移位与循环移位指令

移位与循环移位指令见表 4-51。

表 4-51　移位与循环移位指令

名　　称	指令格式（语句表）	功　　能	操　作　数
字节移位指令	SRB OUT,N	将字节 OUT 右移 N 位,最左边的位依次用 0 填充	IN,OUT,N:VB,IB,QB,MB,SB,SMB,LB,AC,＊VD,＊AC,＊LD IN 和 N 还可以是常数
	SLB OUT,N	将字节 OUT 左移 N 位,最右边的位依次用 0 填充	
	RRB OUT,N	将字节 OUT 循环右移 N 位,从最右边移出的位送到 OUT 的最左位	
	RLB OUT,N	将字节 OUT 循环左移 N 位,从最左边移出的位送到 OUT 的最右位	
字移位指令	SRW OUT,N	将字 OUT 右移 N 位,最左边的位依次用 0 填充	IN, OUT: VW, IW, QW, MW, SW, SMW,LW,T,C,AC,＊VD,＊AC,＊LD IN 还可以是 AIW 和常数 N:VB,IB,QB,MB,SB,SMB,LB,AC,＊VD,＊AC,＊LD,常数
	SLW OUT,N	将字 OUT 左移 N 位,最右边的位依次用 0 填充	
	RRW OUT,N	将字 OUT 循环右移 N 位,从最右边移出的位送到 OUT 的最左位	
	RLW OUT,N	将字 OUT 循环左移 N 位,从最左边移出的位送到 OUT 的最右位	
双字移位指令	SRD OUT,N	将双字 OUT 右移 N 位,最左边的位依次用 0 填充	IN,OUT:VD,ID,QD,MD,SD,SMD,LD,AC,＊VD,＊AC,＊LD IN 还可以是 HC 和常数 N:VB,IB,QB,MB,SB,SMB,LB,AC,＊VD,＊AC,＊LD,常数
	SLD OUT,N	将双字 OUT 左移 N 位,最右边的位依次用 0 填充	
	RRD OUT,N	将双字 OUT 循环右移 N 位,从最右边移出的位送到 OUT 的最左位	
	RLD OUT,N	将双字 OUT 循环左移 N 位,从最左边移出的位送到 OUT 的最右位	
位移位寄存器指令	SHRB DATA,S_BIT,N	将 DATA 的值(位型)移入移位寄存器;S_BIT 指定移位寄存器的最低位,N 指定移位寄存器的长度(正向移位＝N,反向移位＝－N)	DATA,S_BIT:I,Q,M,SM,T,C,V,S,L N:VB,IB,QB,MB,SB,SMB,LB,AC,＊VD,＊AC,＊LD,常数

（5）交换和填充指令

交换和填充指令见表 4-52。

（6）表操作指令

表操作指令见表 4-53。

表 4-52　交换和填充指令

名　　称	指令格式（语句表）	功　　能	操　作　数
换字节指令	SWAPIN	将输入字 IN 的高位字节与低位字节的内容交换，结果放回 IN 中	IN：VW，IW，QW，MW，SW，SMW，LW，T，C，AC，＊VD，＊AC，＊LD
填充指令	FILL IN，OUT，N	用输入字 IN 填充从 OUT 开始的 N 个字存储单元 N 的范围为 1～255	IN，OUT：VW，IW，QW，MW，SW，SMW，LW，T，C，AC，＊VD，＊AC，＊LD IN 还可以是 AIW 和常数 OUT 还可以是 AQW N：VB，IB，QB，MB，SB，SMB，LB，AC，＊VD，＊AC，＊LD，常数

表 4-53　表操作指令

名　　称	指令格式（语句表）	功　　能	操　作　数
表存数指令	ATT DATA，TABLE	将一个字型数据 DATA 添加到表 TABLE 的末尾。EC 值加 1	DATA，TABLE：VW，IW，QW，MW，SW，SMW，LW，T，C，AC，＊VD，＊AC，＊LD DATA 还可以是 AIW，AC 和常数
表取数指令	FIFO TABLE，DATA	将表 TABLE 的第一个字型数据删除，并将它送到 DATA 指定的单元。表中其余的数据项都向前移动一个位置，同时实际填表数 EC 值减 1	DATA，TABLE：VW，IW，QW，MW，SW，SMW，LW，T，C，＊VD，＊AC，＊LD DATA 还可以是 AQW 和 AC
	LIFO TABLE，DATA	将表 TABLE 的最后一个字型数据删除，并将它送到 DATA 指定的单元。剩余数据位置保持不变，同时实际填表数 EC 值减 1	
表查找指令	FND＝TBL，PTN，INDEX FND < > TBL，PTN，INDEX FND < TBL，PTN，INDEX FND > TBL，PTN，INDEX	搜索表 TBL，从 INDEX 指定的数据项开始，用给定值 PTN 检索出符合条件（＝，< >，<，>）的数据项 如果找到一个符合条件的数据项，则 INDEX 指明该数据项在表中的位置。如果一个也找不到，则 INDEX 的值等于数据表的长度。为了搜索下一个符合的值，在再次使用该指令之前，必须先将 INDEX 加 1	TBL：VW，IW，QW，MW，SMW，LW，T，C，＊VD，＊AC，＊LD PTN，INDEX：VW，IW，QW，MW，SW，SMW，LW，T，C，AC，＊VD，＊AC，＊LD PTN 还可以是 AIW 和 AC

（7）数据转换指令

数据转换指令见表 4-54。

表 4-54　数据转换指令

名　称	指令格式（语句表）	功　能	操 作 数
数据类型转换指令	BTI IN,OUT	将字节输入数据 IN 转换成整数类型,结果送到 OUT,无符号扩展	IN: VB, IB, QB, MB, SB, SMB, LB, AC, ＊VD, ＊AC, ＊LD,常数 OUT:VW,IW,QW,MW,SW,SMW,LW,T,C,AC, ＊VD, ＊AC, ＊LD
	ITB IN,OUT	将整数输入数据 IN 转换成一个字节,结果送到 OUT,输入数据超出字节范围(0～255)则产生溢出	IN:VW,IW,QW,MW,SW,SMW,LW,T,C,AIW,AC, ＊VD, ＊AC, ＊LD,常数 OUT: VB, IB, QB, MB, SB, SMB, LB, AC, ＊VD, ＊AC, ＊LD
	DTI IN,OUT	将双整数输入数据 IN 转换成整数,结果送到 OUT	IN:VD,ID,QD,MD,SD,SMD,LD,HC,AC, ＊VD, ＊AC, ＊LD,常数 OUT:VW,IW,QW,MW,SW,SMW,LW,T,C,AC, ＊VD, ＊AC, ＊LD
	ITD IN,OUT	将整数输入数据 IN 转换成双整数(符号进行扩展),结果送到 OUT	IN:VW,IW,QW,MW,SW,SMW,LW,T,C,AIW,AC, ＊VD, ＊AC, ＊LD,常数 OUT: VD, ID, QD, MD, SD, SMD, LD, AC, ＊VD, ＊AC, ＊LD
	ROUND IN,OUT	将实数输入数据 IN 转换成双整数,小数部分四舍五入,结果送到 OUT	IN, OUT: VD, ID, QD, MD, SD, SMD, LD, AC, ＊VD, ＊AC, ＊LD IN 还可以是常数 在 ROUND 指令中 IN 还可以是 HC
	TRUNC IN,OUT	将实数输入数据 IN 转换成双整数,小数部分直接舍去,结果送到 OUT	
	DTR IN,OUT	将双整数输入数据 IN 转换成实数,结果送到 OUT	IN, OUT: VD, ID, QD, MD, SD, SMD, LD, AC, ＊VD, ＊AC, ＊LD IN 还可以是 HC 和常数
	BCDI OUT	将 BCD 码输入数据 IN 转换成整数,结果送到 OUT。IN 的范围为 0～9999	IN, OUT: VW, IW, QW, MW, SW, SMW, LW,T,C,AC, ＊VD, ＊AC, ＊LD IN 还可以是 AIW 和常数 AC 和常数
	IBCD OUT	将整数输入数据 IN 转换成 BCD 码,结果送到 OUT。IN 的范围为 0～9999	
编码译码指令	ENCO IN,OUT	将字节输入数据 IN 的最低有效位(值为 1 的位)的位号输出到 OUT 指定的字节单元的低 4 位	IN:VW,IW,QW,MW,SW,SMW,LW,T,C,AIW,AC, ＊VD, ＊AC, ＊LD,常数 OUT: VB, IB, QB, MB, SB, SMB, LB, AC, ＊VD, ＊AC, ＊LD
	DECO IN,OUT	根据字节输入数据 IN 的低 4 位所表示的位号将 OUT 所指定的字单元和相应位置 1,其他位置 0	IN: VB, IB, QB, MB, SB, SMB, LB, AC, ＊VD, ＊AC, ＊LD,常数 OUT:VW,IW,QW,MW,SW,SMW,LW,T,C,AQW,AC, ＊VD, ＊AC, ＊LD

（续）

名　　称	指令格式（语句表）	功　　能	操　作　数
段码指令	SEG IN,OUT	根据字节输入数据 IN 的低 4 位有效数字产生相应的七段码,结果输出到 OUT,OUT 的最高位恒为 0	IN, OUT: VB, IB, QB, MB, SB, SMB, LB, AC, * VD, * AC, * LD IN 还可以是常数
字符串转换指令	ATH IN,OUT,LEN	把从 IN 开始的长度为 LEN 的 ASCⅡ码字符串转换成 16 进制数,并存放在以 OUT 为首地址的存储区中。合法的 ASCⅡ码字符的 16 进制值在 30H ~ 39H,41H ~ 46H 之间,字符串的最大长度为 255 个字符	IN, OUT, LEN: VB, IB, QB, MB, SB, SMB, LB, * VD, * AC, * LD LEN 还可以是 AC 和常数

（8）特殊指令

特殊指令见表 4-55。PLC 中一些实现特殊功能的硬件需要通过特殊指令来使用，可实现特定的复杂的控制目的，同时程序的编制非常简单。

表 4-55　特 殊 指 令

名　　称	指令格式（语句表）	功　　能	操　作　数
中断指令	ATCH INT, EVNT	把一个中断事件（EVNT）和一个中断程序联系起来，并允许该中断事件	INT：常数 EVNT：常数（CPU221/222：0 ~ 12，19 ~ 23，27 ~ 33；CPU224：0 ~ 23，27 ~ 33；CPU226：0 ~ 33）
	DTCH EVNT	截断一个中断事件和所有中断程序的联系，并禁止该中断事件	
	ENI	全局地允许所有被连接的中断事件	无
	DISI	全局地关闭所有被连接的中断事件	
	CRETI	根据逻辑操作的条件从中断程序中返回	
	RETI	位于中断程序结束，是必选部分，程序编译时软件自动在程序结尾加入该指令	
通信指令	NETR TBL, PORT	初始化通信操作，通过指令端口（PORT）从远程设备上接收数据并形成表（TBL）。可以从远程站点读最多 16 个字节的信息	TBL：VB，MB，* VD，* AC，* LD PORT：常数
	NETW TBL, PORT	初始化通信操作，通过指定端口（PORT）向远程设备写表（TBL）中的数据，可以向远程站点写最多 16 个字节的信息	
	XMT TBL, PORT	用于自由端口模式。指定激活发送数据缓冲区（TBL）中的数据。数据缓冲区的第一个数据指明了要发送的字节数，PORT 指定用于发送的端口	TBL：VB，IB，QB，MB，SB，SMB，* VD，* AC，* LD PORT：常数（CPU221/222/224 为 0；CPU226 为 0 或 1）
	RCV TBL, PORT	激活初始化或结束接收信息的服务。通过指定端口（PORT）接收的信息存储于数据缓冲区（TBL），数据缓冲区的第一个数据指明了接收的字节数	

（续）

名　称	指令格式（语句表）	功　能	操　作　数
通信指令	GPA ADDR，PORT	读取 PORT 指定的 CPU 口的站地址，将数值将入 ADDR 指定的地址中	ADDR：VB，IB，QB，MB，SB，SMB，LB，AC，＊VD，＊AC，＊LD 在 SPA 指令中 ADDR 还可以是常数 PORT：常数
	SPA ADDR，PORT	将 CPU 口的站地址（PORT）设置为 ADDR 指定的数值	
时钟指令	TODR T	读当前时间和日期并把它装入一个 8 字节的缓冲区（起始地址为 T）	T：VB，IB，QB，MB，SB，SMB，LB，＊VD，＊AC，＊LD
	TODW T	将包含当前时间和日期的一个 8 字节的缓冲区（起始地址是 T）装入时钟	
高速计数器指令	HDEF HSC，MODE	为指定的高速计数器分配一种工作模式。每个高速计数器使用之前必须使用 HDEF 指令，且只能使用一次	HSC：常数（0～5） MODE：常数（0～11）
	HSC N	根据高速计数器特殊存储器位的状态，按照 HDEF 指令指定的工作模式，设置和控制高速计数器。N 指定了高速计数器号	N：常数（0～5）
高速脉冲输出指令	PLS Q	检测用户程序设置的特殊存储器位，激活由控制位定义的脉冲操作，从 Q0.0 或 Q0.1 输出高速脉冲 可用于激活高速脉冲串输出（PTO）或宽度可调脉冲输出（PWM）	Q：常数（0 或 1）
PID 回路指令	PID TBL，LOOP	运用回路表中的输入和组态信息，进行 PID 运算。要执行该指令，逻辑堆栈顶（TOS）必须为 ON 状态。TBL 指定回路表的起始地址，LOOP 指定控制回路号 回路表包含 9 个用来控制和监视 PID 运算的参数：过程变量当前值（PV_n），过程变量前值（PV_{n-1}），给定值（SP_n），输出值（M_n），增益（K_c），采样时间（T_s），积分时间（T_i），微分时间（T_d）和积分项前值（MX） 为使 PID 计算是以所要求的采样时间进行，应在定时中断执行中断服务程序或在由定时器控制的主程序中完成，其中定时时间必须填入回路表中，以作为 PID 指令的一个输入参数	TBL：VB LOOP：常数（0～7）

4.2.5　S7-200 系列 PLC 编程软件 STEP7-Micro/WIN 的使用说明

1. 从程序输入到程序运行的基本流程

前面已介绍了 PLC 的编程元件、梯形图和指令字指令系统等，凭借经验、参照“继电器-接触器控制系统”的分析和设计方法，便可以设计出具有一定功能的 PLC 控制系统。有了编写好的 PLC 控制程序（梯形图、指令表、SFC 等），还必须通过编程器将其输入到 PLC 中，才能被 PLC 执行完成预定的控制功能。因此，程序的编辑、修改、检查和监控是 PLC 开发应用中不可缺少的重要内容，是程序正确运行的重要环节。图 4-93 给出了从程序输入到程序运行的基本流程。

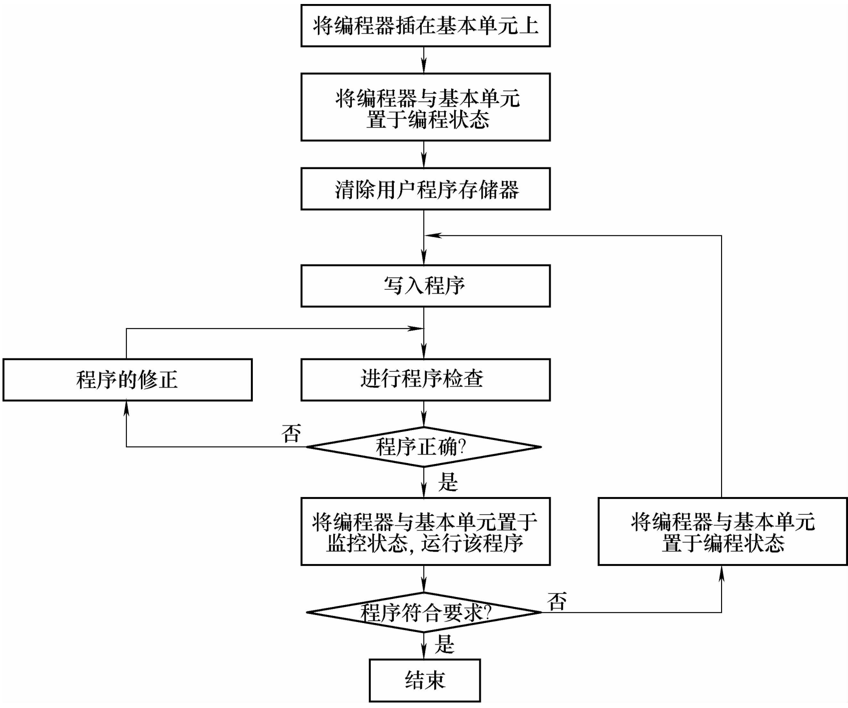


图 4-93　从程序输入到程序运行的基本流程

用户程序的输入由编程器完成，所以学会了编程器的使用也就学会了程序的输入方法。编程器按结构、大小分为便携式编程器和图形编程器两大类。

便携式编程器又称简易编程器，具有体积小、重量轻、价格低廉、使用灵活方便等优点，但只能用指令字形式编程，通过显示器上的指令输入，并由液晶显示器加以显示。这种编程器的监控功能少，仅适用小型、微型 PLC 的编程要求。

图形编辑型编程器的功能比简易型编程器要强得多。在程序的输入、编辑方面，它不仅可以使用所有编程语言进行程序的输入与编辑，而且还可以对 PLC 程序、I/O 信号、内部编程元件等添加文字注释与说明，为程序的阅读、检查提供了方便。在调试、诊断方面，图形编辑型编程器可以进行梯形图程序的实时、动态显示，显示的图形形象、直观，可以监控与显示的内容也远比简易型编程器要多得多。在使用操作方面，图形编辑型编程器不但可以与

PLC 联机使用，也能进行离线编程，而且还可以通过仿真软件进行系统仿真。图形编程器的主要功能，如图 4-94 所示。

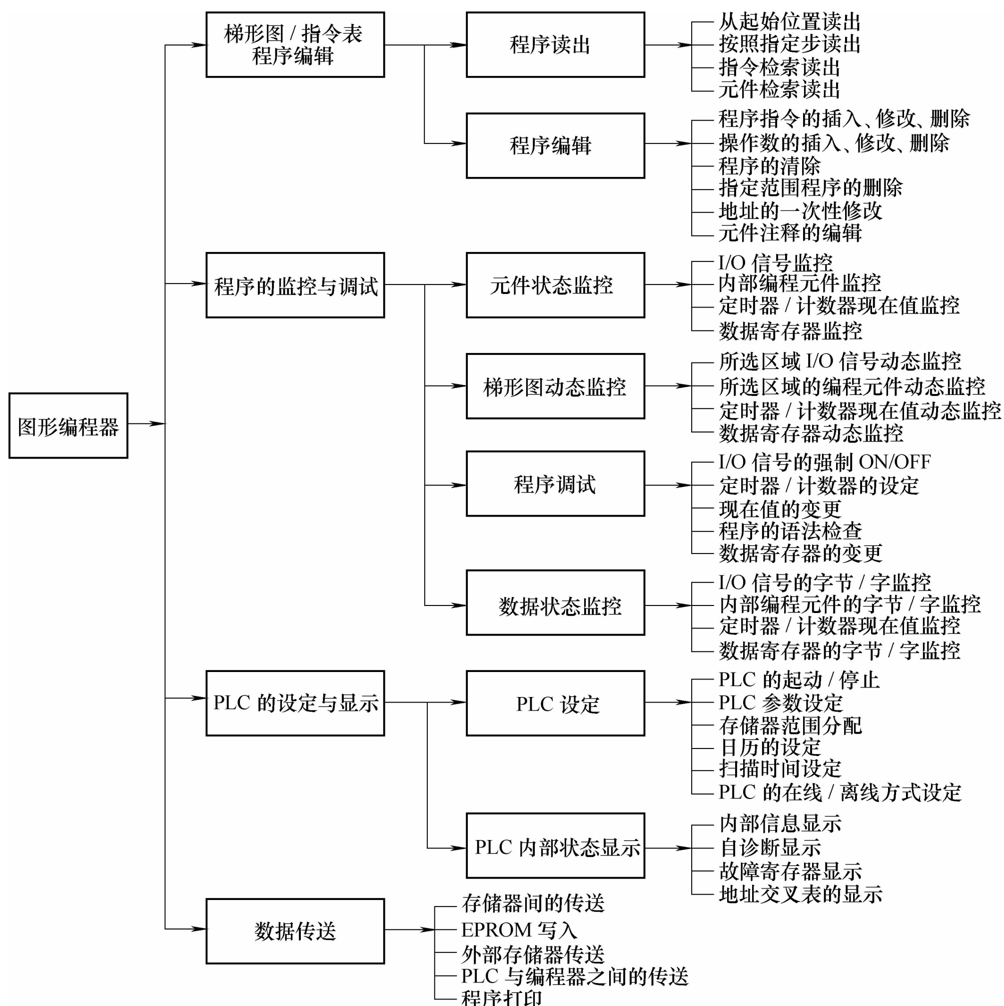


图 4-94　图形编程器的主要功能

图形编程器一般体积都比较大，现场调试与服务时使用、携带不方便。计算机加上适当的硬件接口和软件包，也可用来作为图形编程器。该方式也可直接编制梯形图，监控和测试功能也很强。对普遍拥有计算机的用户，可省去 1 台编程器，并可充分利用原有计算机的资源。

简言之：手动编程的特点是编程器携带方便，但输入程序时对操作人员要求较高；专用图形编辑编程器的使用范围受到一定的局限，价格通常较高，且其功能与安装了程序开发软件后的通用计算机无实质件的区别，目前已逐步被通用笔记本电脑所代替；电脑编程直观简单，灵活多变，且设计和改动程序方便，是 PLC 首选的编程工具。随着手提电脑和笔记本电脑应用的越来越广泛，手动编程的特点也已经显示不出其优越性。因此，目前 PLC 一般都采用电脑编程。本节就只介绍西门子 S7-200 系列 PLC 编程软件 STEP 7-Micro/WIN 的主要

使用说明。

2. STEP 7-Micro/WIN 编程软件的基本功能

STEP 7-Micro/WIN 作为 S7-200 系列 PLC 的专用编程软件，功能强大，有英、德、中文等多种版本，其中文版可以实现全中文程序编程操作，为中文用户实现开发、编辑和监控程序等提供了良好的界面。STEP 7-Micro/WIN 编程软件为用户提供了 3 种程序编辑器：梯形图、指令表和功能块图编辑器，同时还提供了完善的在线帮助功能，有利于用户获取需要的信息。本节主要介绍 STEP 7 软件的基本功能、界面及界面功能。

（1） STEP 7-Micro/WIN 的基本功能

STEP 7-Micro/WIN 编辑软件是在 Windows 平台上编制用户应用程序，它主要完成下列任务。

1） 在离线方式下（计算机不直接与 PLC 联系）可以实现对程序的创建、编辑、编译、调试和系统组态。由于没有联机，所有的程序都存储在计算机的存储器中。

2） 用在线（联机）方式下通过联机通信的方式上传和下载用户程序及组态数据，编辑和修改用户程序。可以直接对 PLC 进行各种操作。

3） 在编辑程序过程中进行语法检查。为避免用户在编程过程中出现的一些语法错误以及数据类型错误，软件会进行语法检查。使用梯形图编程时，在出现错误的地方会自动加红色波浪线。使用语句表编程时，在出现错误的语句行前自动画上红色叉，且在错误处加上红色波浪线。

4） 提供对用户程序进行文档管理、加密处理等工具功能。

5） 设置 PLC 的工作方式和运行参数，进行监控和强制操作等。

（2） 软件界面及其功能介绍

编程软件提供多种语言显示界面，下面依据中文界面介绍 STEP 7 常用功能。其他语言界面功能与中文界面相同，只是显示语言不同。

1） 软件界面

第一次起动 STEP 7 编程软件显示的是英文界面，如图 4-95 所示。

因为 STEP 7 编程软件提供了多种显示语言，所以也可以选择中文主界面。在图 4-95 中选择“Tools”→“Options”命令，打开“Options”对话框。在“Options”对话框中将“General”→“Language”的内容选择为“Chinese”，如图 4-96 所示；然后单击 OK 按钮，弹出如图 4-97 所示的退出提示对话框；单击确定按钮后，弹出是否保存对话框，如图 4-98 所示；单击是(Y)按钮保存后，英文界面被关闭。再次起动 STEP 7，出现中文界面，如图 4-99 所示。

2） 界面功能

STEP 7 编程软件的中文界面一般分为菜单条、工具条、浏览条、输出窗口、状态栏、编辑窗口、局部变量表和指令树等几个区域，这里分别对这几块区域进行介绍。

①菜单条

文件（File）：如新建、打开、关闭、保存文件，上传或下载用户程序，打印预览，页面设置等操作。

编辑（Edit）：程序编辑工具。可进行复制、剪切、粘贴程序块和数据块以及查找、替换、插入、删除和快速光标定位等操作。

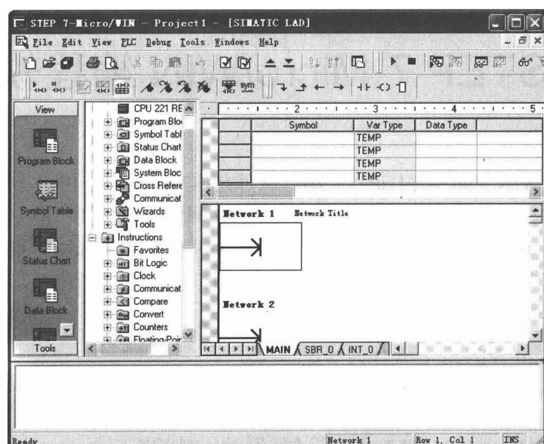


图 4-95　英文界面

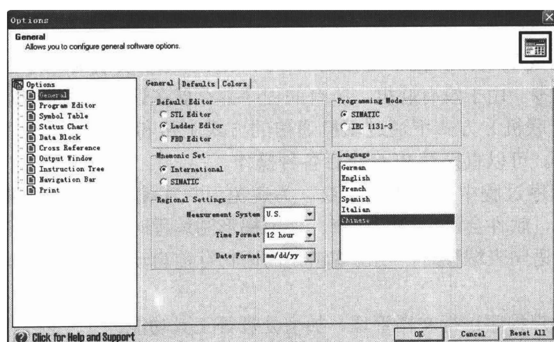


图 4-96　【Options】对话框

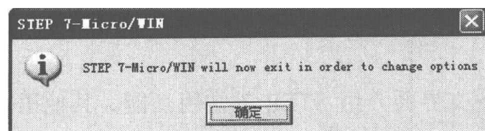


图 4-97　退出提示对话框

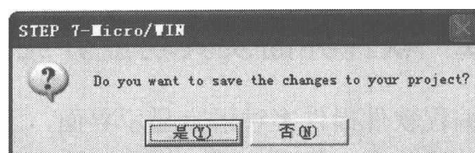


图 4-98　是否保存对话框



图 4-99　中文界面

查看（View）：可以设置开发环境，执行引导窗口区的选择项，选择编程语言（LAD、STL或FBD），设置3种程序编程器的风格，如字体的大小等。

PLC：用于选择PLC的类型，改变PLC的工作方式，查看PLC的信息，进行PLC通信设置等功能。

调试（Debug）：用于联机调试。

工具（Tools）：可以调用复杂指令向导（包括PID指令、网络读写指令和高速计数器指令），安装文本显示器TD200等功能。

窗口（Windows）：可以打开一个或多个窗口，并进行窗口之间的切换，设置窗口的排放形式等。

帮助（Help）：可以检索各种相关的帮助信息。在软件操作过程中，可随时按<F1>键，显示在线帮助。

②工具条。工具条的功能是提供简单的鼠标操作，将最常用的操作以按钮的形式安放在工具条中。

③浏览条。通过选择“查看”→“浏览条”打开浏览条。浏览条的功能是在编程过程中进行编程窗口的快速切换。各种窗口的快速切换是由浏览条中的按钮控制的，单击任何一个按钮，即可将主窗口切换到该按钮对应的编程窗口。

程序块：单击程序块图标，可立即切换到梯形图编程窗口。

符号表：为了增加程序的可读性，在编程时经常使用具有实际意义的符号名称替代编程元件的实际地址，例如，系统起动按钮的输入地址是I0.0，如果在符号表中，将I0.0的地址定义为start，这样在梯形图中，所有用地址I0.0的编程元件都由start代替，增强了程序的可读性。

状态表：状态表用于联机调试时监视所选择变量的状态及当前值。只需在地址栏中写入想要监视的变量地址，在数据栏中注明所选择变量的数据类型就可以在运行时监视这些变量的状态及当前值。

数据块：在数据窗口中，可以设置和修改变量寄存器（V）中的一个或多个变量值，要注意变量地址和变量类型及数据方位的匹配。

系统块：系统块主要用于系统组态。

交叉引用：当用户程序编译完成后，交叉索引窗口提供的索引信息有：交叉索引信息、字节使用情况和位使用情况。

通信与设置PG/PC接口：当PLC与外部器件通信时，需进行通信设置。

④输出窗口。该窗口用来显示程序编译的结果信息，如各程序块（主程序、中断程序或子程序）的大小、编译结果有无错误、错误编码和位置等。

⑤状态栏。状态栏也称为任务栏，与一般任务栏功能相同。

⑥编辑窗口。编辑窗口分为3部分：编辑器、网络注释和程序注释。编辑器主要用于梯形图、语句表或功能图编写用户程序，或在联机状态下从PLC下载用户程序进行读程序或修改程序。网络注释是指对本网络的用户程序进行说明。程序注释用于对整个程序说明解释，多用于说明程序的控制要求。

⑦局部变量表。每个程序块都对应一个局部变量表。在带参数的子程序调用中，局部变量表用来进行参数传递。

⑧指令树。可通过选择“查看”→“指令树”打开，用于提示编程时所用到的全部 PLC 指令和快捷操作命令。

（3）系统组态

系统组态是指参数的设置和系统配置。单击浏览条里的系统块图标，如图 4-99 所示，即进入系统组态设置对话框，如图 4-100 所示。常用的系统组态包括断电数据保持、密码、输出表、输入滤波器和脉冲捕促位等。下面将介绍这几种常用的系统组态的设置过程。

1）设置断电数据保持。在 S7-200 中，可以用编辑软件来设置需要保持数据的存储器，以防止出现电源掉电的意外情况时丢失一些重要参数。

当电源掉电时，在存储器 M、T、C 和 V 中，最多可以定义 6 个需要保持的存储器区。对于 M，系统的默认值是 MB0 ~ MB13 不保持；对于定时器 T（只有 TONR）和计数器 C，只有当前值可以选择被保持，而定时器位和计数器位是不能保持的。单击图 4-100 中系统块下的“断电数据保持”进入如图 4-101 所示的断电数据保持设置界面，对需要进行断电保持的存储器进行设置。

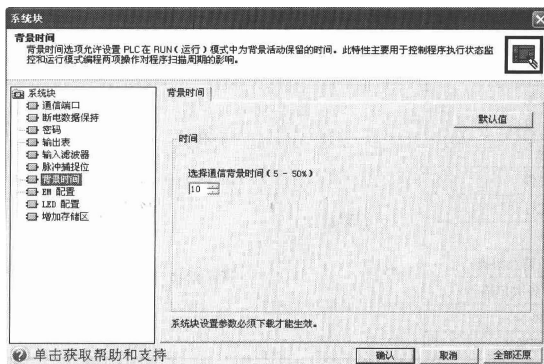


图 4-100　系统组态设置对话框

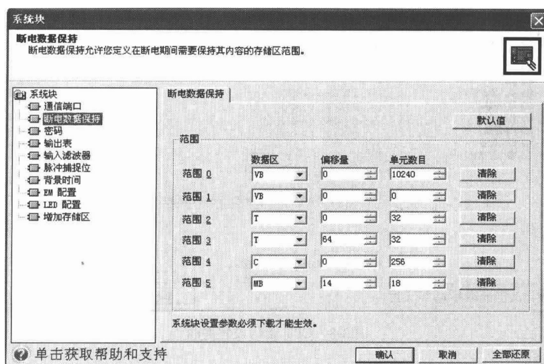


图 4-101　断电数据保持设置界面

2）设置密码。设置密码指的是设置 CPU 密码，设置 CPU 密码主要是用来限制某些存取功能。S7-200 对存取功能提供了 4 个等级的限制，系统的默认状态是 1 级（不受任何限制），S7-200 的存取功能限制见表 4-56。

表 4-56　S7-200 的存取功能限制

<table>
<tr><th>任　务</th><th>1 级</th><th>2 级</th><th>3 级</th><th>4 级</th></tr>
<tr><td>读写用户数据</td><td rowspan="10">不限制</td><td rowspan="4">不限制</td><td rowspan="3">不限制</td><td rowspan="10">需要密码</td></tr>
<tr><td>起动、停止、重启</td></tr>
<tr><td>读写时钟</td></tr>
<tr><td>上传程序文件</td><td rowspan="7">需要密码</td></tr>
<tr><td>下载程序文件</td><td rowspan="6">需要密码</td></tr>
<tr><td>STL 状态</td></tr>
<tr><td>删除用户程序、数据及组态</td></tr>
<tr><td>取值数据或单次/多次扫描</td></tr>
<tr><td>复制到存储器卡</td></tr>
<tr><td>在 STOP 模式写输入</td></tr>
</table>

设置 CPU 密码时，应先单击系统块下的“密码”，然后在 CPU 密码设置界面内选择权限，输入 CPU 密码并确认，如图 4-102 所示。如果在设置密码后又忘记了密码，无法进行受限制操作，只有清除 CPU 存储器，重新装入用户程序。清除 CPU 存储器的方法是：在 STOP 模式下，重新设置 CPU 出厂设置的默认值（CPU 地址、波特率和时钟除外）。选择菜单栏中的“PLC”→“清除”命令，弹出“清除”对话框，选择“ALL”命令，然后确定即可。如果已经设置了密码，则弹出“密码授权”对话框，输入“Clear”，就可以执行全部清除的操作。由于密码同程序一起存储在存储卡中，最后还要更新写存储器卡，才能从程序中去掉遗忘的密码。

3）设置输出表。S7-200 在运行过程中可能会遇到由 RUN 模式转换到 STOP 模式，在已经配置了输出表功能时，就可以将输出量复制到各个输出点，使各个输出点的状态变为输出表规定的状态或保持转换前的状态。输出表也分为数字量输出表和模拟量输出表。单击系统块下的“输出表”后，输出表设置界面如图 4-103 所示。

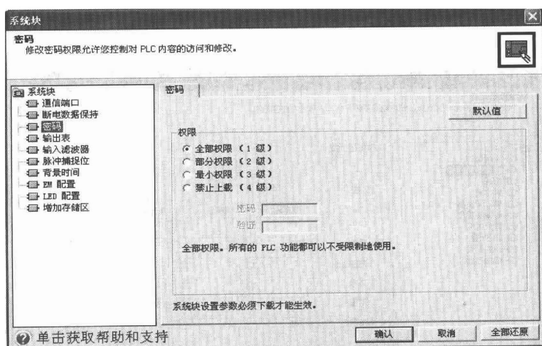


图 4-102　CPU 密码设置界面

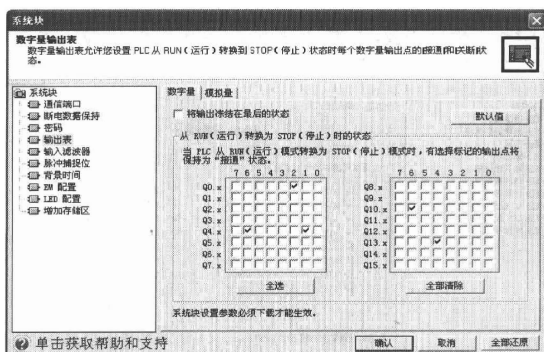


图 4-103　输出表设置界面

在图 4-103 中，只选择了一部分输出点，当系统出 RUN 模式转换到 STOP 模式时，在表中选择的点被置为 1 状态，其他点被置为 0 状态。如果选择“将输出冻结在最后的状态”命令，则不复制输出表，所有的输出点保持转换前的状态不变。系统的默认设置为所有的输出点都保持转换前的状态。

4）设置输入滤波器。单击系统块下的“输入滤波器”，进入输入滤波器设置界面。输入滤波器分为数字量输入滤波器和模拟量输入滤波器，下面分别来介绍这两种输入滤波器的设置。

① 设置数字量输入滤波。对于来自工业现场输入信号的干扰，可以通过对 S7-200 CPU 单元上的全部或部分数字量输入点合理地定义输入信号延迟时间，这样就可以有效地控制或消除输入噪声的影响，这就是设置数字量输入滤波器的目的。输入延迟时间的范围为 0. 2 ~ 12. 8ms，系统的默认值是 6. 4ms，如图 4-104 所示。

② 设置模拟量输入滤波器（使用机型：CPU222，CPU224，CPU226）。如果输入的模拟量信号是缓慢变化的，可以对不同的模拟量输入采用软件滤波的方式。模拟量输入滤波器设置界面如图 4-105 所示。

图 4-105 中有 32 个参数需要设定：选择需要滤波的模拟量输入地址，设定采样次数和设定死区值。系统默认参数为：选择全部模拟量参数，采样数为 64（滤波值是 64 次采样的

平均值），死区值为 320（如果模拟量输入值与滤波值的差值超过 320，滤波器对最近的模拟量的输入值的变化将是一个阶跃函数）。

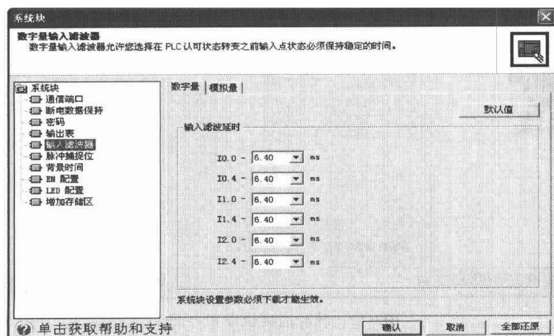


图 4-104　数字量输入滤波设置界面

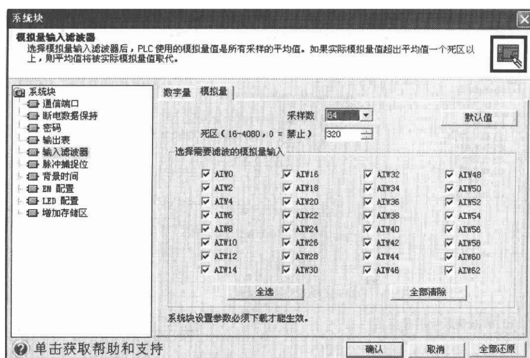


图 4-105　模拟量输入滤波器设置界面

5）设置脉冲捕捉位

如果在两次输入采样期间出现了一个小于一个扫描周期的短暂脉冲，在没有设置脉冲捕捉功能时，CPU 就不能捕捉到这个脉冲信号。反之，设置了脉冲捕捉功能 CPU 就能捕促到这个脉冲信号。单击系统块下的“脉冲捕捉位”，进入脉冲捕捉位设置界面如图 4-106 所示。

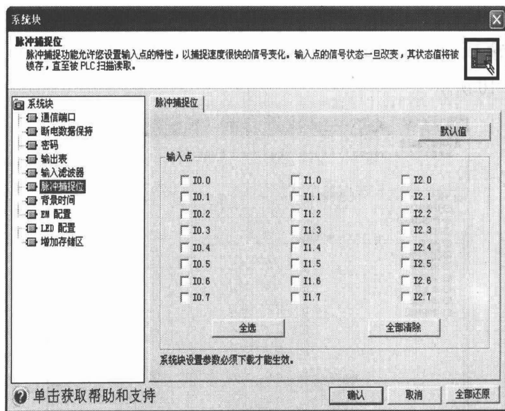


图 4-106　脉冲捕捉位设置界面

3. STEP 7 编程软件的使用

STEP 7 编程软件的使用是学习编程软件的重点，这里将按照对文件操作、编辑程序、下载、运行与停止程序的步骤进行 STEP 7 使用的介绍。

（1）文件操作

STEP 7 的文件操作主要是指新建程序文件和打开已有文件两种。

1）新建程序文件。新建一个程序文件，可选择“文件”→“新建”命令，或者单击工具条中的按钮来完成。新建的程序文件名字默认为“项目 1”，PLC 型号默认为 CPU221。程序文件建立后，程序块中包括一个主程序 MAIN（OB1），一个子程序 SBR _0（SBR0）和一个中断服务程 INT0（INT0）。新建程序文件界面如图 4-107 所示。

在新建程序文件时可根据实际情况更改文件的初始设置，如更改 PLC 型号、项目文件更名、程序更名、添加和删除程序等。

①更改 PLC 型号。因为不同型号的 PLC 的外部扩展能力不同，所以在建立新程序文件时，应根据项目的需要选择 PLC 型号。若选用 PLC 的型号为 CPU226，则右击项目 1（CPU221）的图标选择“类型”命令，如图 4-107 所示。或者选择“PLC”→“类型”命令，弹出“PLC 类型”对话框，如图 4-108 所示，在“PLC 类型”文本框，选择

“CPU226”，在“CPU 版本”中选择 CPU 的版本（在此选择 02. 01），然后单击“确认”按钮，PLC 型号就更改为 CPU226，如图 4-109 所示。

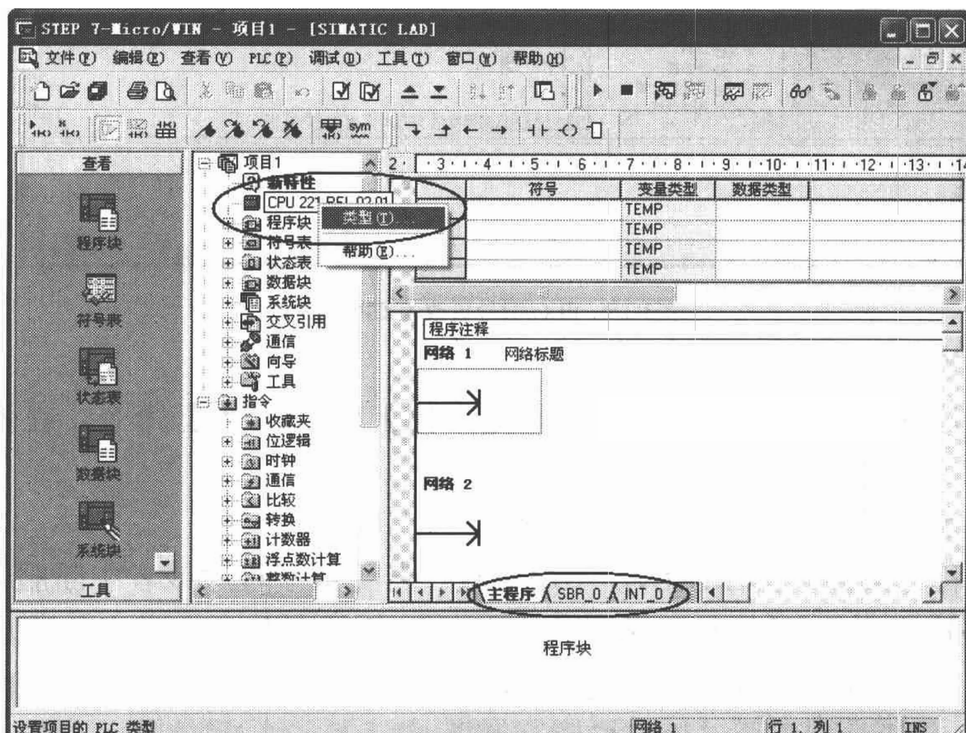


图 4-107　新建程序文件界面

②项目文件更名。若要更改程序文件的默认名称，可选择“文件”→“另存为”命令，在弹出的对话框中键入新名称。

③程序更名。主程序的名称一般默认为 MAIN，不用更改。若更改子程序或者中断服务程序名称，则在指令树的程序块文件夹下右击子程序名或中断服务程序名，在弹出的菜单中选择“重命名”命令，如图 4-110 所示，原有名称被选中，此时键入新的程序名代替即可。

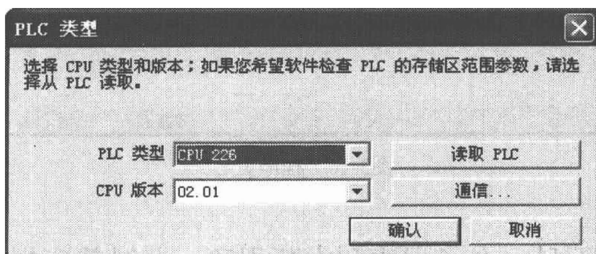


图 4-108　【PLC 类型】对话框

④添加和删除程序。在项目程序中，往往不只一个子程序和中断程序，此时就应根据需要添加。在编程时，也会遇到删除某个子程序和中断程序的情况。

添加程序有 3 种方法：

a. 选择“编辑”→“插入”→“子程序（中断程序）”命令进行程序添加工作。

b. 在指令树窗口，右击程序块下的任何一个程序图标，在弹出的菜单中选择“插入”→“子程序（中断程序）”命令。

c. 在编辑窗口右击编辑区，在弹出的菜单中选择“插入”→“子程序（中断程序）”

命令。

新生成的子程序和中断程序根据已有子程序和中断程序的数目，默认名称分别为 SBR _ n 和 INT _ 0。插入子程序示意图，如图 4-111 所示。

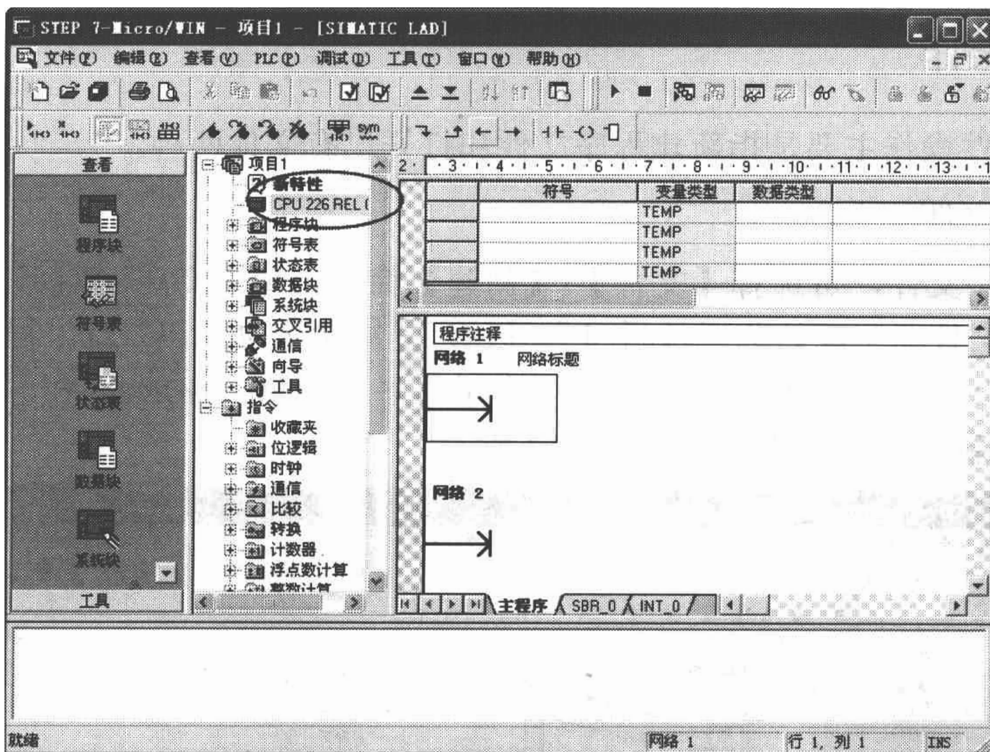


图 4-109 PLC 型号更改为 CPU226

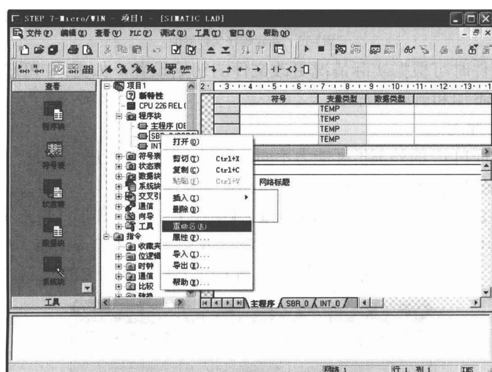


图 4-110 程序更名

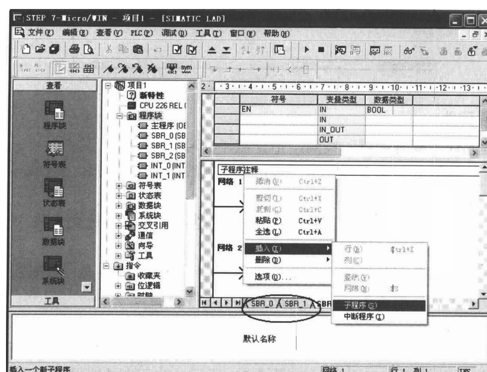


图 4-111 插入子程序示意图

删除程序只有一种力法：在指令树窗口右击程序块下的需删除的程序图标，在弹出的菜单中选择“删除”命令，然后在弹出的“确认”对话框中单击 是(Y) 按钮即可（主程序无法删除）。

2）打开已有文件。打开一个磁盘中已有的程序文件，应选择“文件”→“打开”命令

选择打开的文件即可。也可用工具条中的按钮打开。

（2）编辑程序

编制和修改程序是 STEP 7 编程软件编制程序的最基本的功能，这里将介绍编辑程序的基本操作。

1）选择编辑器。根据需要在 STEP 7 编程软件所提供的 3 种编辑器中选择一种。这里以梯形图编辑器为例进行介绍，选择“查看”→“梯形图”命令，即可选择梯形图编辑器，如图 4-112 所示。

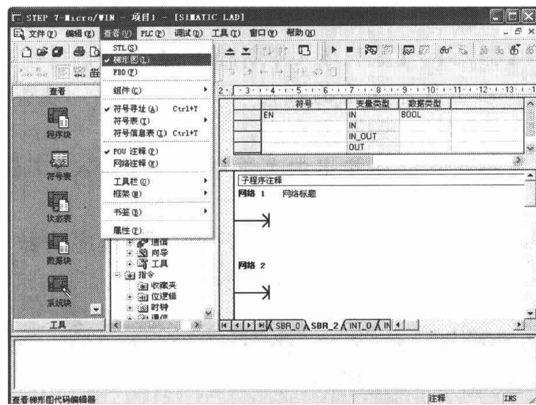


图 4-112　选择编辑器

2）输入编程元件。梯形图编程元件主要有触点、线圈、指令盒、标号及连接线，其中触点、线圈、指令盒属于指令元件，连接线分为垂直线和水平线，而垂直线包括下行线和上行线，水平线包括左行线和右行线。编程元件的输入方法有以下两种：

a. 采用指令树中的指令，这些指令是按照类型排放在不同的文件夹中，主要用于选择触点、线圈和指令盒，直观性强。

b. 采用指令工具条上的编程按钮，如图 4-113 所示。单击触点、线圈和指令盒按钮时，会弹出下拉菜单，可在下拉菜单中选择所需命令。

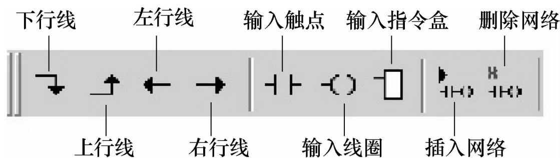


图 4-113　指令工具条上的编程按钮

①放置指令元件。在指令树里打开需要放置的指令，将图 4-114 中“A”位置的指令拖曳至所需的位置如“B”，指令就放置在指定的位置了，如图 4-115 所示。也可以在需要放置指令的地方单击（如图 4-114 所示的“B”），然后双击指令树中要放置的指令，例如图 4-114 中“A”的动合触点，那么指令自动出现在需要的位置上。

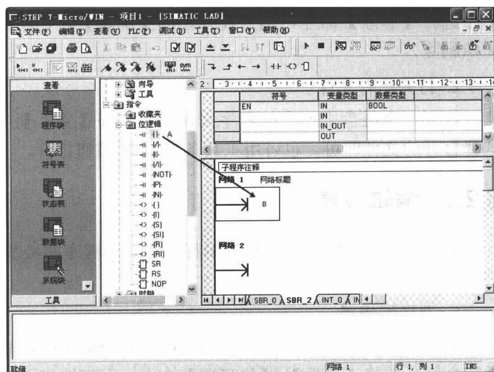


图 4-114　放置位置（触点类指令）

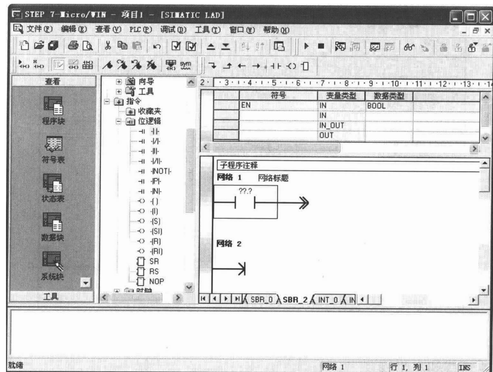


图 4-115　指令放置在指定位置

②输入元件的地址。在图 4-115 中，单击指令的“?? . ?”，可以输入元件的地址“I0. 0”，如图 4-116 所示，然后按键盘的 <Enter> 键即可。

然后按照上述方法放置其他输入元件 I0. 1 和输出元件 Q0. 0，如图 4-117 所示。

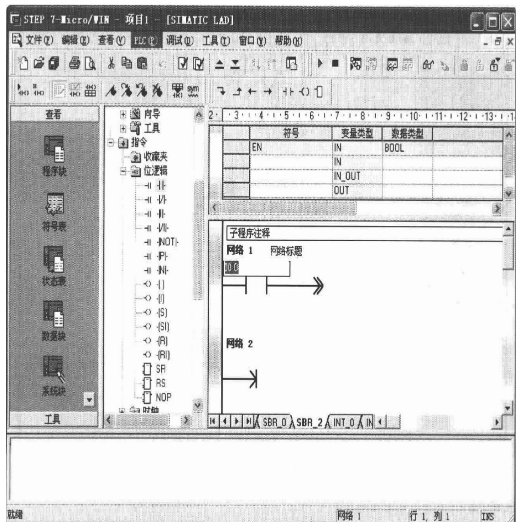


图 4-116　输入元件的地址

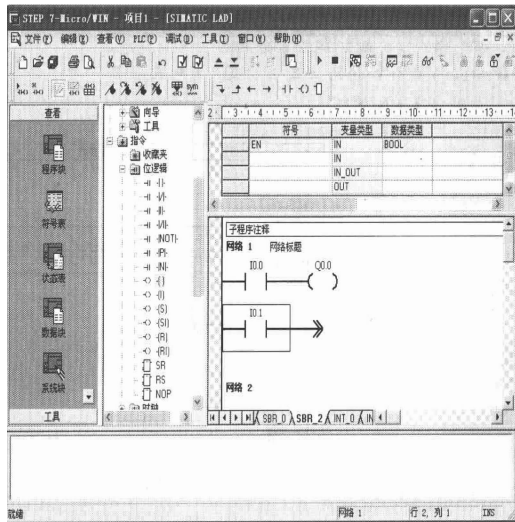


图 4-117　放置其他元件

③画垂直线和水平线

a. 画垂直线。在图 4-117 中，单击按钮完成如图 4-118 所示的触点并联程序；也可以将图 4-117 中的编辑方框放置在 I0. 0 上，单击按钮，同样完成如图 4-118 所示的程序。

b. 画水平线。将图 4-118 中的编辑方框重新放置在图 4-119 所示的位置上，单击按钮完成水平线的绘制，如图 4-120 所示。然后在图 4-120 所示的编辑方框处放置线圈 Q0. 1，最后将编辑方框放置在 I0. 0 元件上，如图 4-121 所示。

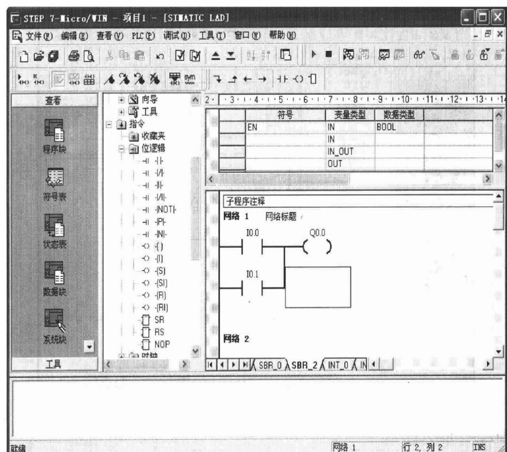


图 4-118　触点并联程序

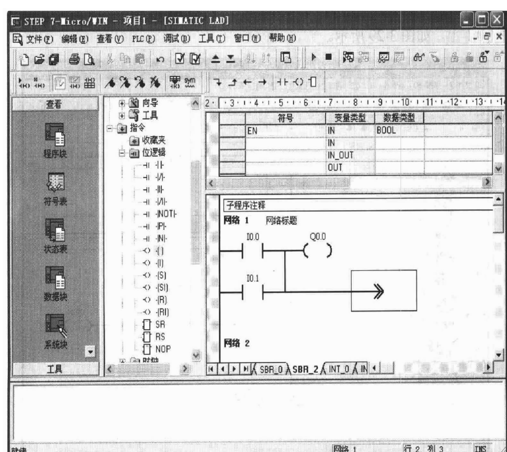


图 4-119　重新放置编辑方框

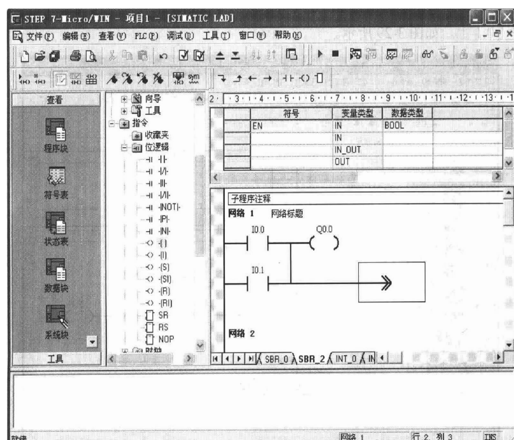


图 4-120　绘制水平线

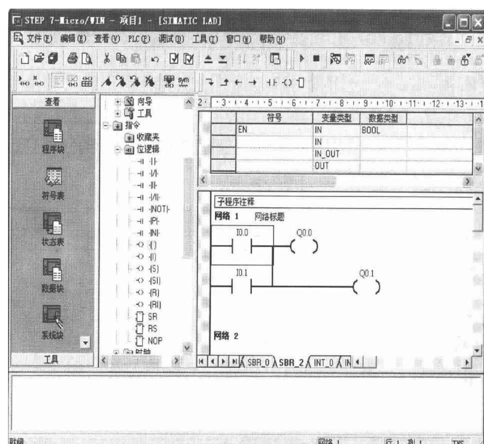


图 4-121　放置线圈 Q0.1

3）插入列和插入行

①插入列。在图 4-121 中，选择“编辑”→“插入”→“列”命令就可以在 I0.0 前面插入一列的位置，如图 4-122 所示。然后将动合触点 M0.0 从指令树中拖曳到编辑方框所在位置并将编辑方框放置在元件 Q0.1 上，如图 4-123 所示。

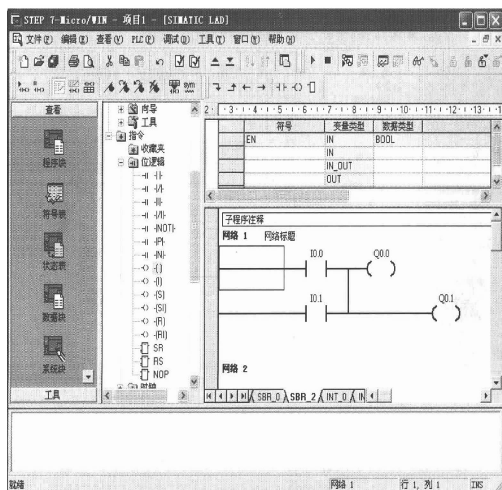


图 4-122　插入一列

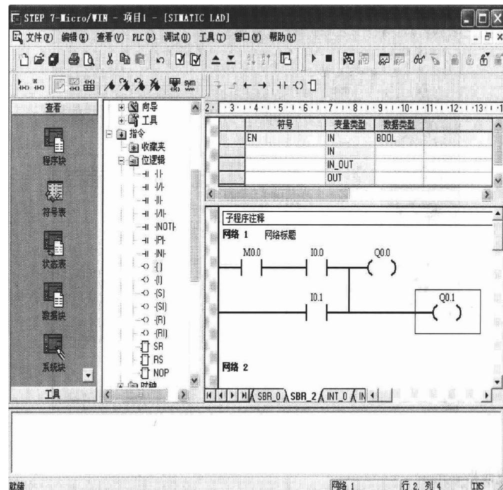


图 4-123　放置 M0.0

②插入行。在图 4-118 中选择“编辑”→“插入”→“行”命令，就可以在 Q0.1 的上面插入一行，如图 4-124 所示。

然后在编辑方框处添加线圈 M0.1，如图 4-125 所示。

4）更改指令元件。如果要把图 4-125 中的动合触点 M0.0 变为动断触点，动断触点 I0.1 变为立即动断触点 I0.2，一般有两种方法：

① 把原来 M0.0 的动合触点和 I0.1 的动合触点删除，然后在相应的位置直接放置需要的指令。

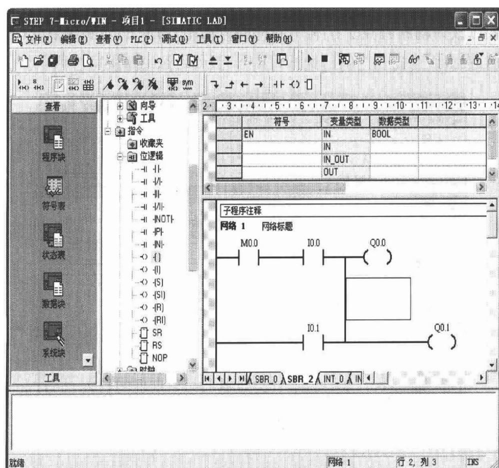


图 4-124　插入一行

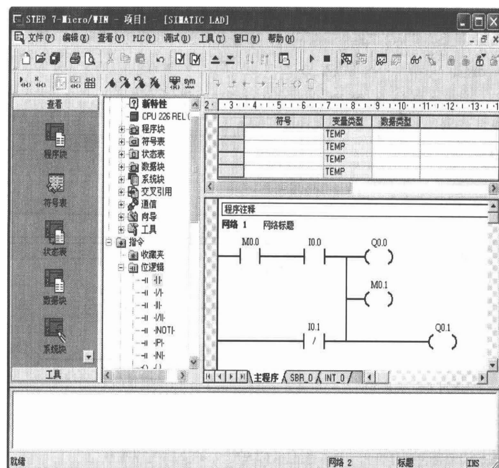


图 4-125　添加线圈 M0.1

② 把光标放置在 M0.0 的动合触点上面，然后双击指令树的动断触点，可以看到 M0.0 的动合触点改为动断触点了；利用同样的方法把 I0.1 的动断触点先改成立即动断触点，然后再把 I0.1 的地址改成 I0.2 的地址即可得到目标程序，如图 4-126 所示。

5）符号表。使用符号表，可将元件地址用具有实际意义的符号代替，有利于程序的清晰易读。符号表通常在编写程序前先进行定义，若在元件地址已经输入后则会出现无法显示的问题。例如，定义图 4-126 中的输入元件 I0.0 为机械手左移按钮，可以选择“查看”→“符号表”命令，也可以在浏览条中单击符号表图标，出现符号表界面，然后在符号表界面里分别填写“符号”、“地址”和“注释”（“注释”项可根据需要决定是否填写）3 项，如图 4-127 所示。

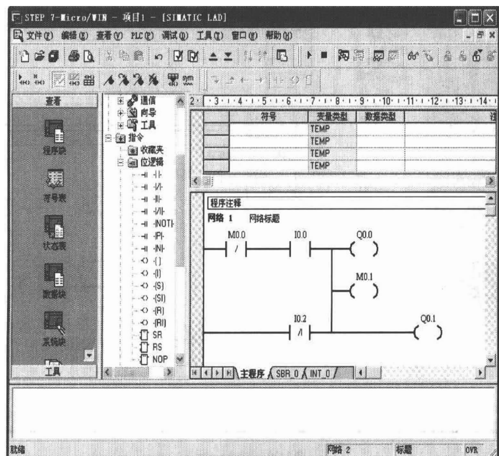


图 4-126　目标程序

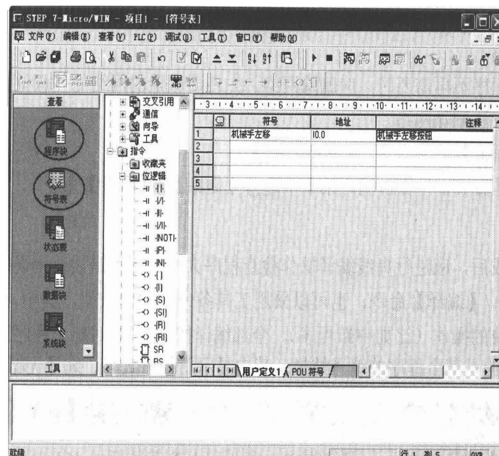


图 4-127　符号表界面

然后单击浏览条里的程序块图标，切换到梯形图程序，可以发现 I0.0 元件地址并没有变化，地址仍为 I0.0。若重新输入地址“I0.0”，则会发现 I0.0 前面出现了“机械手左 ~”（因为编程软件里的符号名称只能显示 4 个汉字），因此常在编写程序前先编写符号表。带

有符号注释的梯形图如图 4-128 所示。

6）插入和删除网络

① 插入网络。在创建一个项目程序时，主程序、子程序和中断程序都默认为 25 个网络，而许多复杂控制系统的编程网络会远远超过 25 个网络，因此常需要增加网络数目。插入网络常用方法有 3 个：

a. 选择“编辑”→“插入”→“网络”命令。

b. 使用快捷键 < F3 > 。

c. 在编辑窗口右击，在出现的菜单中选择“插入”→“网络”命令。

②删除网络。当某个网络程序不再需要时，应删除网络。先在要删除网络的任意位置点击一下，按照以下两种方法删除网络：

a. 选择“编辑”→“删除”→“网络”命令。

b. 在编辑界面右击、在出现的菜单中选择“删除”→“网络”命令。

7）编译。程序编制完成后，应进行离线编译操作检查程序大小、有无错误及错误编码和位置等。可以选择“PLC”→“编译”命令，也可以采用工具条中的编译按钮。其中，编译按钮 是完成对某个程序块的操作（比如中断程序），全部编译按钮 是对整个程序进行操作。

图 4-129 所示的是某个程序的编译结果。其中显示了程序大小、编译无错误等信息。

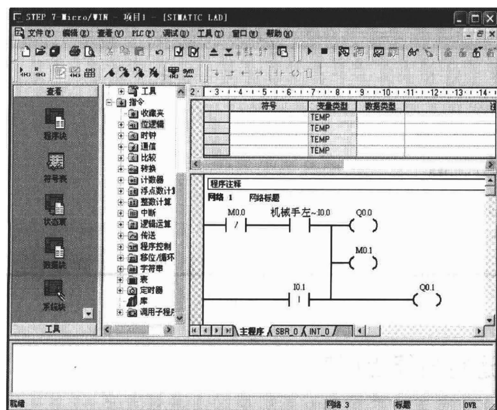


图 4-128　带有符号注释的梯形图

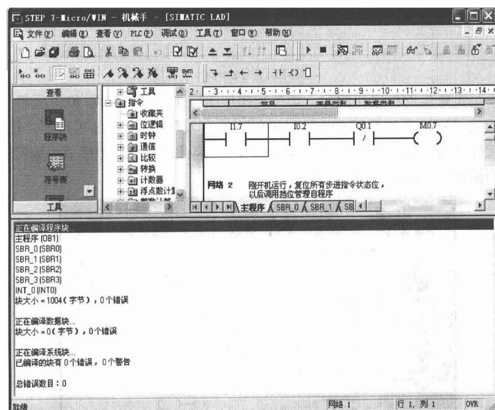


图 4-129　某个程序的编译结果

（3）下载、运行与停止程序

程序编制完成并编译无误后，就可将程序下载到 PLC 中运行。

1）下载程序

下载程序可单击 按钮将用程序下载到 PLC 中。若没有设置通信连接，便会在“下载”对话框中出现通信错误提示，如图 4-130 所示。

使用 PC/PPI 或 USB/PPI 通信电缆把 S7-200 与编程计算机连接，然后单击 按钮，打开“通信”对话框，如图 4-131 所示。

在图 2-131 中，单击 设置 PG/PC 接口 按钮，打开“设置 PG/PC 接口”对话框，选择 PC/PPI cable（PPI），如图 4-132 所示，单击 属性(R)... 按钮，出现“属性”对话框。

“属性”对话框中选择“本地连接”选项卡，设置本地编程计算机的通信口为“USB”，如图 4-133 所示。然后在“PPI”选项卡中设置“站参数”和“网络参数”，如图 4-134 所示，单击 确认 按钮后，完成通信属性设置。

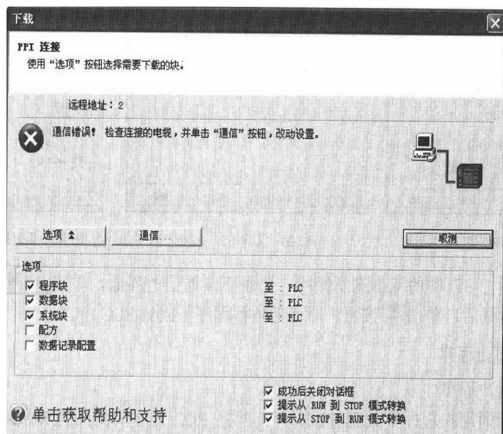


图 4-130 “下载”对话框（通信错误提示）

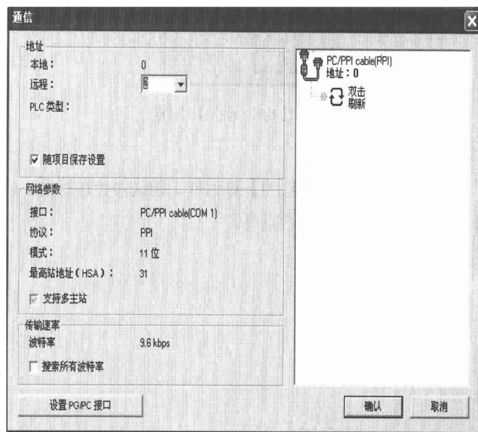


图 4-131 “通信”对话框

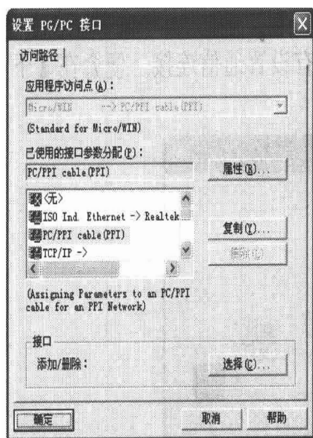


图 4-132 “设置 PG/PC 接口”对话框

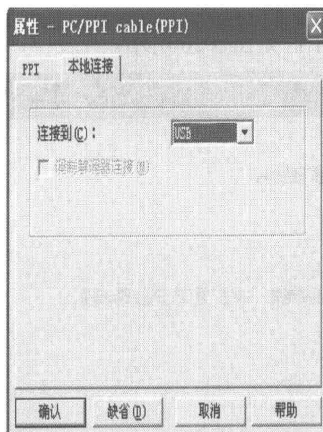


图 4-133 “属性”对话框

最后单击图 4-131 中的双击刷新图标，出现正常通信的界面，单击 确认 按钮，关闭“通信”对话框后，单击 按钮，即可把项目程序下载到 PLC 中。

2）运行与停止程序

①运行用户程序。把需要运行的用户程序下载到 PLC 中，再把 PLC 上的 RUN/TERM/STOP 开关扳至 RUN 位置，然后单击 按钮，自动弹出“RUN（运行）”对话框，如图 4-135 所示，单击 是 按钮，CPU 开始运行用户程序。查看 CPU 上的 RUN 指示灯是否点亮。

②停止运行用户程序。单击 按钮，自动弹出“STOP（停止）”对话框。确认停止运行后，CPU 停止运行用户程序。查看 CPU 上的 STOP 指示灯是否点亮。

综上所述，西门子 S7-200 系列 PLC 编程软件 STEP 7-Micro/WIN 是一种图形编程器。一

般图形编程器所具备的详尽功能见图 4-94。限于篇幅，这里只介绍了 STEP 7-Micro/WIN 的主要常用功能。其他功能有待于读者自主开发。

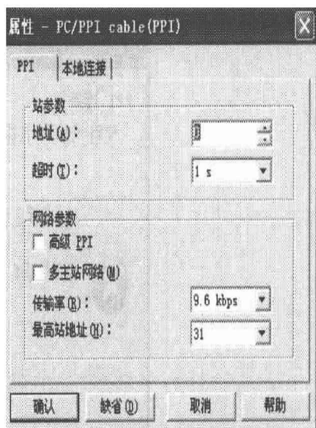


图 4-134　设置“站参数”和“网络参数”

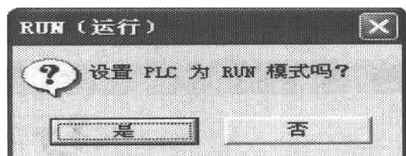


图 4-135　“RUN（运行）”对话框

4. 升级版 S7-200 编程软件 STEP 7-Micro/WIN4.0 的基本使用

在 PLC 的使用过程中，编程软件是非常重要的工具，用户只能利用这个工具来进行 PLC 软件编程。西门子 S7-200 系列 PLC 使用的 STEP 7-Micro/WIN32 编程软件（现已不断地在升级），具有编程及程序调试等多种功能，是 PLC 用户不可缺少的开发工具。本节将以其升级版的 STEP 7-Micro/WIN4.0 为对象，介绍其编程工具软件的基本使用方法。

（1）S7-200 的编程软件及编程系统

STEP 7-Micro/WIN32 编程软件是基于 Windows 的应用软件，由西门子公司专门为 S7-200 系列 PLC 设计开发。现在加上汉化程序后，可在全中文的界面下进行操作，使中国的用户使用起来更加方便与实用。

S7-200 Micro PLC 的编程系统如图 4-136 所示，主要包括以下几个部分：

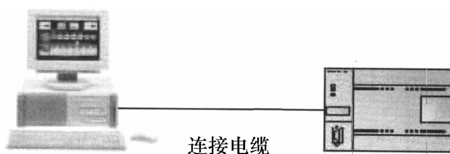


图 4-136　S7-200 Micro PLC 的编程系统

1）装有 STEP 7-Micro/WIN32 编程软件的计算机。

2）S7-200 系列 PLC。

3）一根 PC/PPI 连接电缆。

（2）升级版 STEP 7-Micro/WIN4.0 的编程环境

目前西门子公司已经将 STEP 7-Micro/WIN32 软件进行了不断地升级。本节将以其升级版的 STEP 7-Micro/WIN4.0 中文版为编程环境进行介绍。这里将从 STEP 7-Micro/WIN4.0 的主界面、软件中各编程元素的具体功能以及在软件中如何实现 PLC 与计算机通信等 3 个方面，对该版本软件的编程环境进行应用介绍。

1）STEP 7-Micro/WIN4.0 的主界面。首先熟悉 STEP 7-Micro/WIN4.0 的编程环境的主界面，如图 4-137 所示。主要包含：

①项目及组件。提供项目编程特性的组件群，包括程序块、符号表、状态图、数据块、系统块、交叉引用、通信与设置 PG/PC 接口组件。

②指令树。为当前程序编辑器（LAD、FBD 或 STL）提供所有指令项目对象。

③菜单栏/提供使用鼠标或键盘执行操作的各种命令和工具。

④工具栏。提供常用命令或工具的快捷按钮。

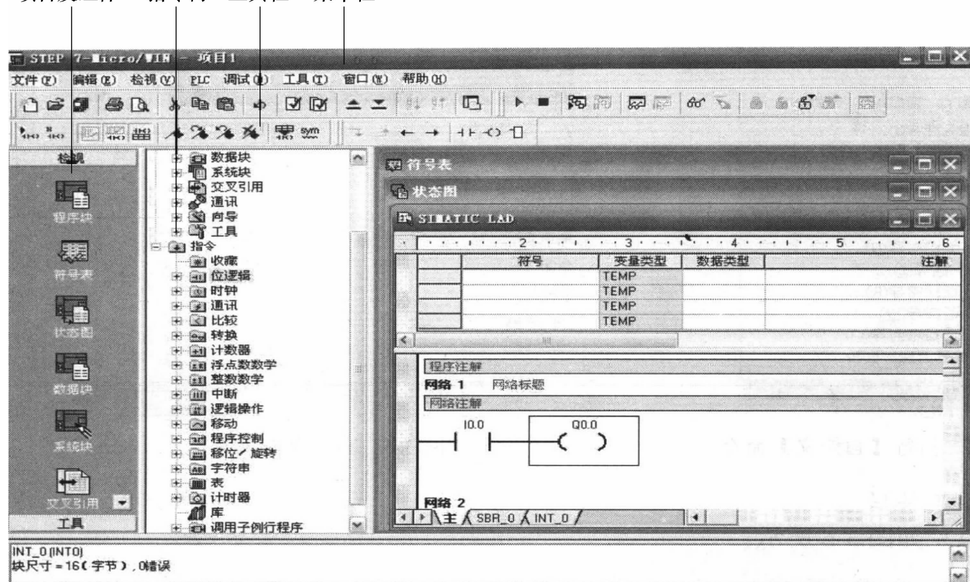


图 4-137　STEP 7-Micro/WIN4. 0 操作界面

2）STEP 7-Micro/WIN4. 0 的具体功能

①菜单栏。菜单栏如图 4-138 所示。

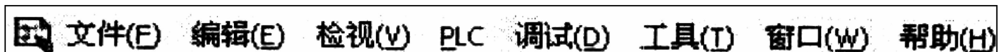


图 4-138　菜单栏

用户也可以定制菜单，在该菜单中增加自己的工具，操作步骤如下：

a. 执行“工具”→“自定义”命令，如图 4-139 所示。

b. 弹出“自定义”对话框，然后在该对话框中对新工具进行编辑操作，如图 4-140 所示。

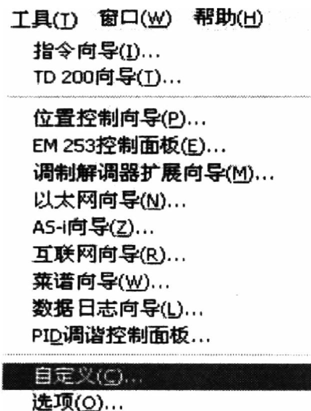


图 4-139　执行“自定义”命令

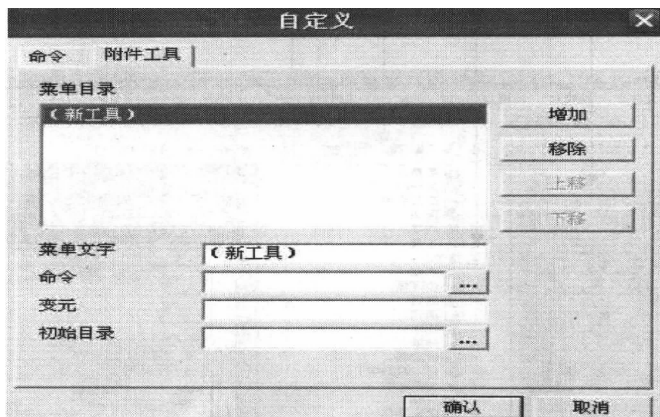


图 4-140　自定义新工具

②工具栏。工具栏如图 4-141 所示。

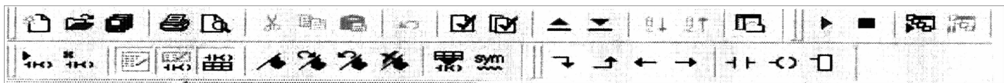


图 4-141　工具栏

标准工具栏如图 4-142 所示。

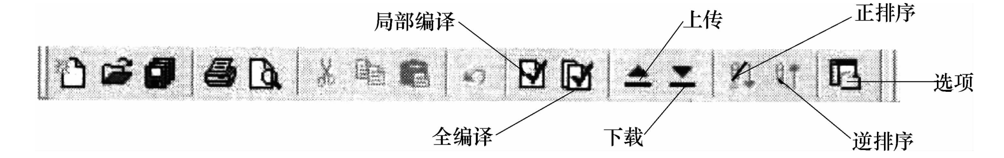


图 4-142　标准工具栏

局部编译：编译当前所在的程序窗口或数据窗口。

全编译；编译系统块、程序块和数据块。

调试工具栏如图 4-143 所示。

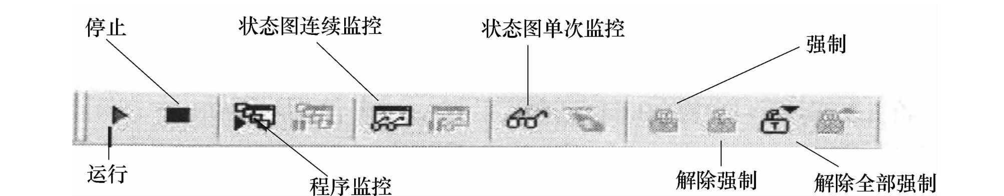


图 4-143　调试工具栏

常用工具栏如图 4-144 所示。

梯形图指令工具栏如图 4-145 所示。

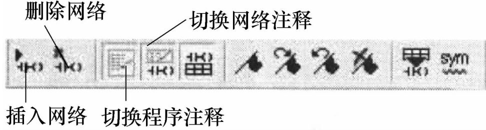


图 4-144　常用工具栏

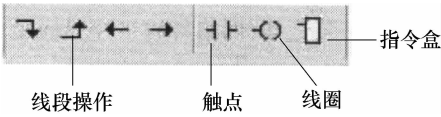


图 4-145　梯形图指令工具栏

③项目及其组件　STEP 7-Micro/WIN4. 0 为每个实际的 S7-200 系统的用户程序生成一个项目，项目以扩展名为 . mwp 的单一文件格式保存。打开一个 . mwp 文件就打开了相应的工程项目。

使用检视区和指令树的项目分支可以查看项目的各个组件，并且可以在它们之间切换，如图 4-146 所示。用鼠标单击检视区组件图标，或者双击指令树分支可以快速到达相应的项目组件。

在 STEP 7-Micro/WIN 中项目为用户提供程序和所需信息之间的联系，程序块、符号表、状态图、数据块、系统块、交叉引用、通信、设置 PG/PC 接口为所包含的项目组件。

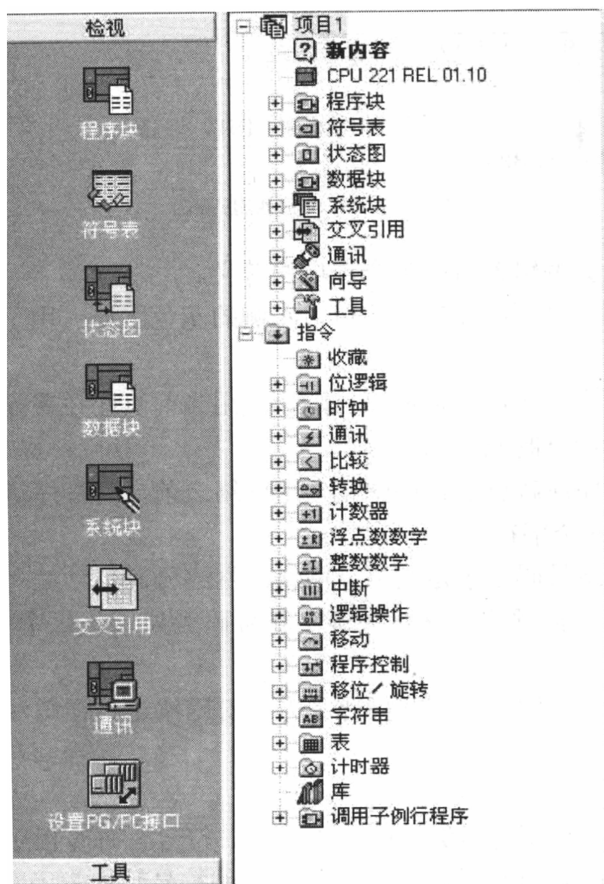


图 4-146　检视区和指令树的项目分支

a. 程序块　程序块完成程序的编辑以及相关注释。程序包括主程序（OB1）、子程序（SBR）和中断程序（INT）。

单击按钮，进入“程序块”编辑窗口，如图 4-147 所示。

“程序块”编辑窗口中各个选项的含义如下：

装订线：是位于“程序编辑器”窗口左侧的灰色区域，用于选择删除、复制或粘贴网络。

标尺：标尺位于程序块编辑窗口顶端，使用当前页面设置显示打印区域宽度。标尺可以根据区域设置显示公制或英制单位。

程序注解：程序注解位于程序中第一个网络之前，对程序进行详细注解。每条程序注解最多可以有 4096 个字符。

网络号码：网络号码用于定义单个网络。网络号码自动编号，范围为 1～65536。

网络标题：网络标题位于网络关键字和号码旁显示。每个标题最多可有 256 个字符。

网络注解：网络注解位于网络标题下方，对网络进行详细注解。每条网络注解最多可有 4096 个字符。

b. 符号表。符号表是允许程序员使用符号编址的一种工具。符号有时对程序员更加

方便，能使程序逻辑更容易遵循。下载至 PLC 的编译程序将所有的符号转换为绝对地址，符号表信息不会下载至 PLC。

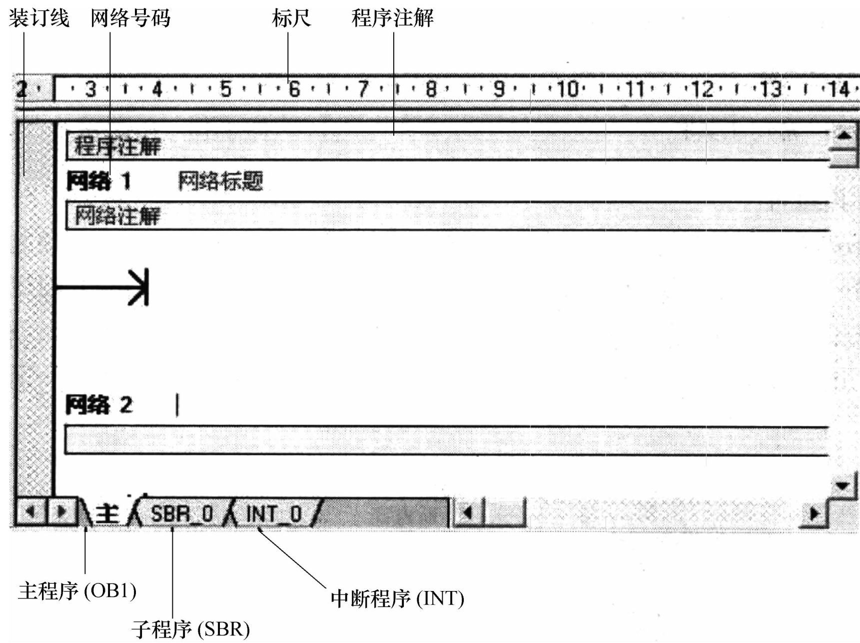


图 4-147　“程序块”编辑窗口

单击按钮，进入“符号表”编辑窗口，如图 4-148 所示。

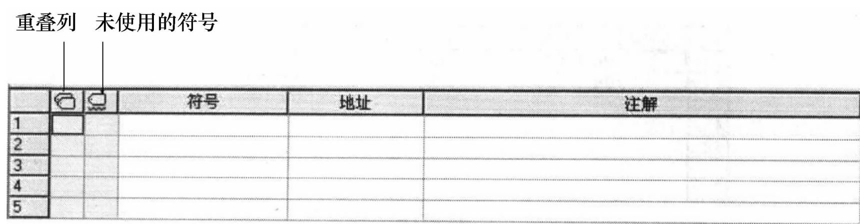


图 4-148　“符号表”编辑窗口

“符号表”编辑窗口中各个选项的含义如下：

：“重叠列”显示绝对地址共享部分。每次表格被修改时，“重叠”列被更新。

：“未使用的符号”列中列出程序中未被引用的所有符号，每次表格被修改时，该列被更新。

符号：定义、编辑或选择符号等命令，允许用户在使用程序编辑器或状态图时定义新符号，从列表中选取现有符号或编辑符号属性。新的赋值或修改后的赋值将被自动加入到符号表内。

用鼠标右键单击梯形图中的某编程元素，在弹出的菜单中选择“定义符号”命令，如图 4-149 所示，即可激活符号。

例如，将一个用户程序中的 I0. 0 定义成 ON _ 1，表示“电动机起动”，即可定义一个新

符号，如图 4-150 所示。

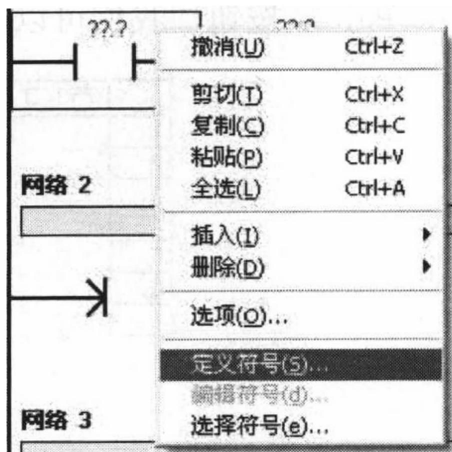


图 4-149　激活符号

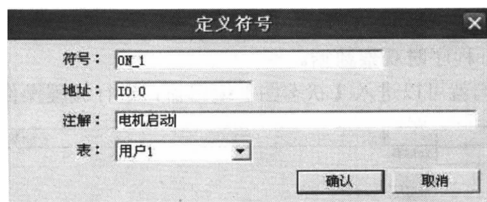


图 4-150　定义新符号

在“程序块”编辑窗口中，可以立即看到符号表信息，如图 4-151 所示。

同样也对 Q0. 0 进行编辑，如将其定义为 1 号电动机。

单击按钮，在“符号表”编辑窗口中可以看到它已经被改过来了，如图 4-152 所示。

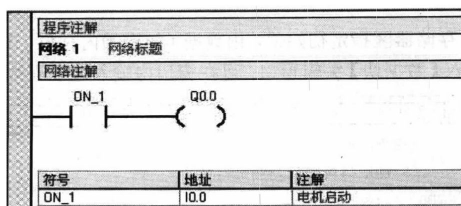


图 4-151　“程序块”编辑窗口

			符号	地址	
1			MOTOR_1	Q0.0	1号电机
2			ON_1	I0.0	电机启动
3					
4					
5					
6					
7					

图 4-152　“符号表”编辑窗口

用户可按照名称或地址列排序表格，排序时可按正向或逆向（字母）顺序排列。

若按正向顺序（A 至 Z）排序列，单击“排序”按钮。

若按逆向顺序（Z 至 A）排序列，单击“逆向排序”按钮。

单击按钮，可以看到符号表已经重新排序了，如图 4-153 所示。

如果建立了多个符号表，用户可以在多个符号表之间自由切换，如图 4-154 所示。

			符号	地址	
1			ON_1	I0.0	电机启动
2			MOTOR_1	Q0.0	1号电机
3					
4					
5					
6					
7					

图 4-153　重新排序的符号表

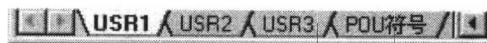


图 4-154　多个符号表

c. 状态图。状态图用于在执行程序时观察数据。

单击按钮，就可以进入“状态图”编辑窗口进行编程操作了，如图 4-155 所示。

d. 数据块。数据块用于为 V 存储器区指定初始值，出数据（如初始内存值、常量值）和注解组成。

单击按钮进入“数据块”编辑窗口，可在窗口内输入地址和数据，如图 4-156 所示。

	地址	格式	当前值	新数值
1		带符号		
2		带符号		
3		带符号		
4		带符号		
5		带符号		

图 4-155　“状态图”编辑窗口

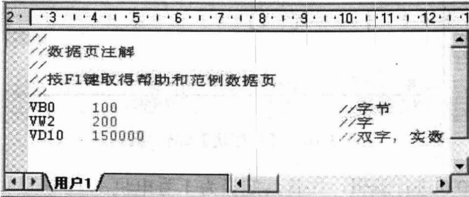


图 4-156　在“数据块”窗口中编辑地址和数据

下载后可以使用状态图观察 V 存储区，如图 4-157 所示。数据块下载到 S7-200CPU 的 EEPROM 内，CPU 掉电后数据不会丢失。

e. 系统块。系统块由配置信息组成，包括通信端口、保留性范围、密码、输出表、输出过滤器、脉冲截取位、背景时间、EM 配置、配置 LED、扩大内存。

	地址	格式	当前值	新数值
1	VB0	不带符号	100	
2	VW2	带符号	+200	
3	VD10	带符号	+150000	

图 4-157　使用状态图观察 V 存储区

单击按钮，进入“系统块”编辑窗口，如图 4-158 所示。

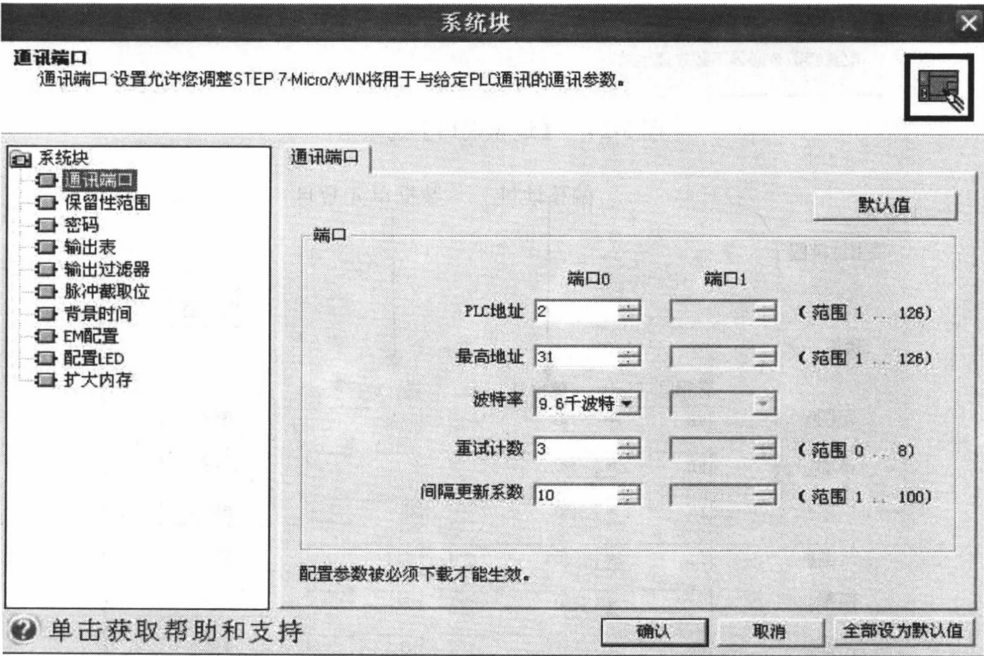


图 4-158　“系统块”编辑窗口

“系统块”列表下的各个配置信息如下：

通信端口。系统块中的“通讯端口”界面用来配置 CPU 的通信端口属性，如图 4-159 所示。

保留性范围。用于设置 CPU 掉电时如何保存数据，如图 4-160 所示。

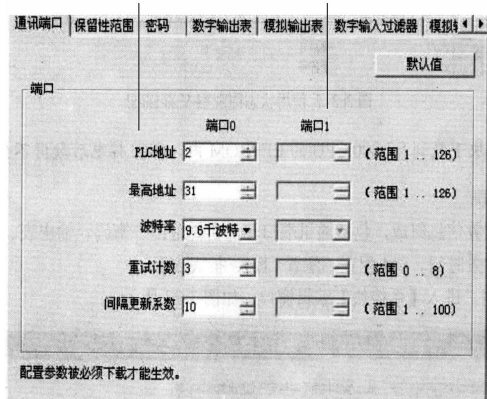


图 4-159　“通讯端口”选项卡

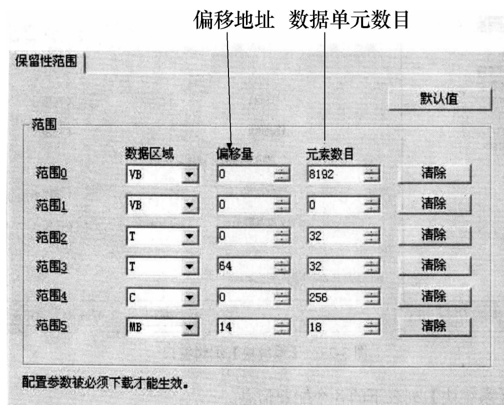


图 4-160　设置 CPU 掉电时的数据保存属性

设置密码：用户可以设置密码以限制访问 S7-200CPU 的内容或者限制使用某些功能，如图 4-161 所示。

全部（1 级）：最高权限。

部分（2 级）：中等权限。

最低（3 级）：最低权限。

表 4-57 给出了这些级别允许的不同存取功能。

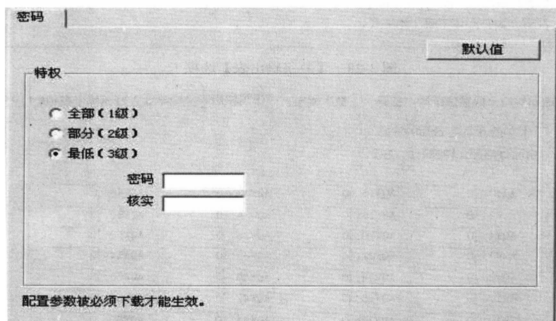


图 4-161　设置密码

表 4-57　各级别所允许的不同存取功能

操　作　说　明	1 级	2 级	3 级
读取控制器数据	允许	允许	允许
写入控制器数据	允许	允许	允许
开始、停止和起动控制器执行的重设	允许	允许	允许
读取和写入当日时间时钟	允许	允许	允许
上传程序块、数据或系统块	允许	允许	有限制
下载程序块、数据或系统块	允许	有限制	有限制
运行时间编辑	允许	有限制	有限制
删除程序块、数据块或系统块	允许	有限制	有限制
复制程序块、数据块或系统块到内存盒	允许	有限制	有限制
状态图中的数据强制功能	允许	有限制	有限制
单次或多次扫描作业	允许	有限制	有限制
在 STOP(停止)模式写入输出	允许	有限制	有限制
执行状态	允许	有限制	有限制

清除密码：如果忘记密码而不能访问 CPU，可以在建立与 S7-200 CPU 的通信后，执行“PLC”→“清除”命令，如图 4-162 所示。

数字输出表。在“数字输出表”选项卡中可以定义当 S7-200CPU 从运行状态转到停止状态时，CPU 对数字输出点的操作，如图 4-163 所示。

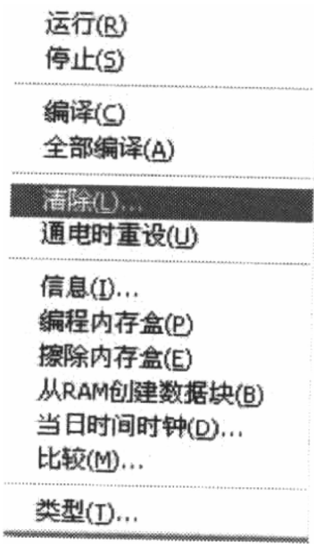


图 4-162　清除密码

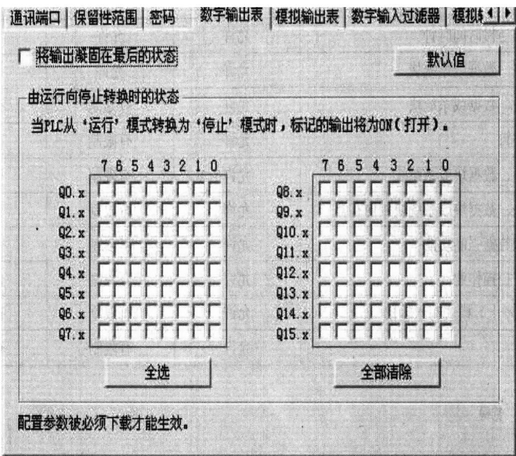


图 4-163　“数字输出表”选项卡

模拟输出表。在“模拟输出表”选项卡中可以定义当 S7-200CPU 从运行状态转到停止状态时，CPU 对模拟输出点的操作，如图 4-164 所示。

⚠模拟输出表只支持 CPU224 和 CPU226。

输入过滤器（滤波器）。S7-200 允许用户为输入点选择输入滤波器，并通过软件进行滤波器参数的设置。根据输入信号的不同分为数字输入滤波器和模拟输入滤波器。

● 数字输入过滤器（滤波器）

S7-200 可以为 CPU 集成数字量输入点选择输入滤波器，并为滤波器定义延迟时间（从 0.2～12.8ms 可选），如图 4-165 所示。这个延迟时间有助于滤除输入噪声，以免引起输入状态不可预测的变化。图 4-165 菜单中的过滤器即滤波器。

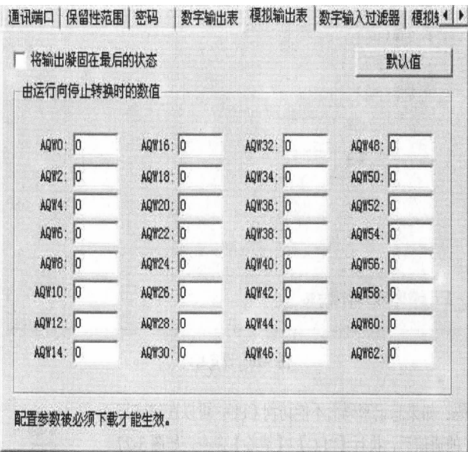


图 4-164　“模拟输出表”选项卡

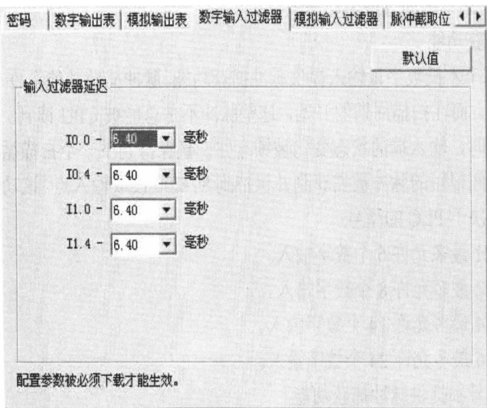


图 4-165　“数字输入过滤器”参数配置

⚠数字输入滤波器会对读输入、输入中断和脉冲捕获产生影响。如果参数选择不当，应用程序有可能会丢掉一个中断事件或者脉冲捕捉。高速计数器不受此影响。

● 模拟输入过滤器（滤波器）

S7-200 可以对每一路模拟量输入选择软件滤波器，如图4-166 所示。滤波值是多个模拟量输入采样值的平均值。滤波器参数（采样次数和死区设置）对于允许滤波的所有模拟输入都是相同的。模拟过滤器不适用于快速变化的模拟量。死区设置是指如果模拟量信号经过模/数转换之后的值和平均值之差大于此处的设定值，则认为此采样值无效。图4-166 菜单中的过滤器即滤波器。

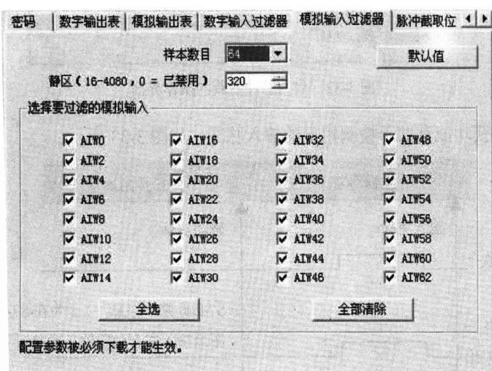


图4-166 “模拟输入过滤器”参数配置

脉冲捕获功能。S7-200 为每个本机数字量输入提供脉冲捕获功能。脉冲捕获功能允许 PLC 捕捉到持续时间很短的脉冲。而在扫描周期的开始，这些脉冲不是总能被 CPU 读到。当一个输入设置了脉冲捕获功能时，输入端的状态变化被锁存并一直保持到下一个扫描循环刷新。这就确保了一个持续时间很短的脉冲被捕获到并保持到 S7-200 读取输入点。该功能可使用的最大数字输入数目取决于 PLC 的型号。

- CPU221 最多允许 6 个数字输入。
- CPU222 最多允许 8 个数字输入。
- CPU224 最多允许 14 个数字输入。
- CPU226 最多允许 24 个数字输入。

CPU21X 型号不提供脉冲捕获功能。

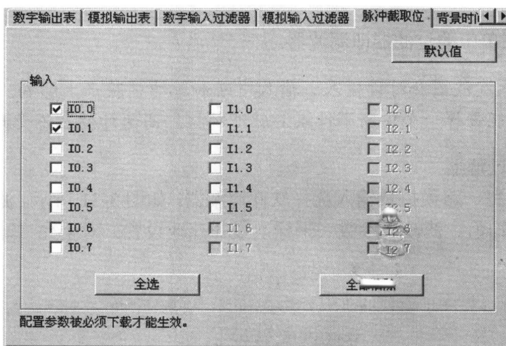


图4-167 启用脉冲捕获的操作界面

用户可为每个数字输入分别启用脉冲捕获操作，如图4-167 所示。使用脉冲捕获功能有助于检测短促的输入脉冲，如图4-168 所示。

由于在数字输入通道结构框图中，脉冲捕获在数字输入滤波器之后，所以用户必须选择适当的滤波器参数，避免滤波器丢失脉冲，如图4-169 所示。

启用脉冲捕获功能对各种不同输入条件的输出结果如图4-170 所示。如果在某一特定扫描中存在一个以上脉冲，仅读取第一个脉冲。如果在某一特定扫描中有多个脉冲，则应当使用上升/下降边沿中断事件。

此功能只能用于 CPU 集成的输入点。在使用脉冲捕捉功能时，必须要保证把输入滤波器的时间调整到脉冲不被滤掉，即在通过了输入滤波器后脉冲捕捉功能才有效。

f. 交叉引用

“交叉引用”编辑窗口允许用户检查表格，这些表格列举在程序中何处使用操作数以及哪些内存区已经被指定（位用法和字节用法）。在 RUN（运行）模式中进行程序编辑时，用户还可以检查程序目前正在使用的边缘号码（EU、ED）。交叉引用及用法信息不会下载至 PLC。

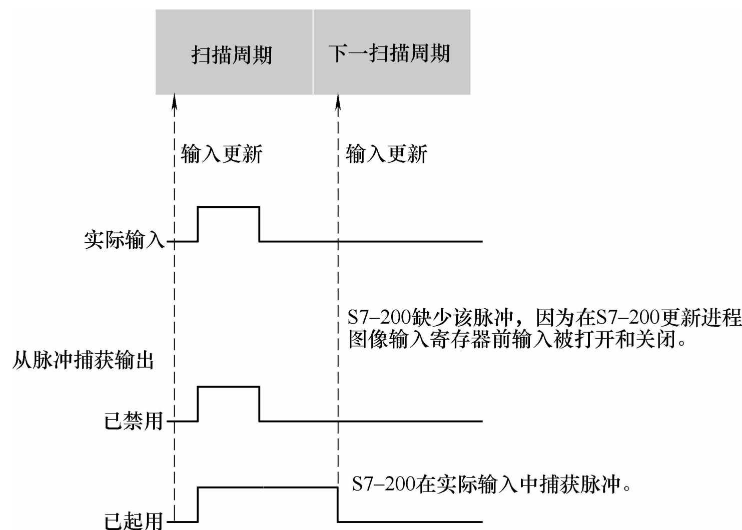


图 4-168　使用脉冲捕获功能检测短促的输入脉冲

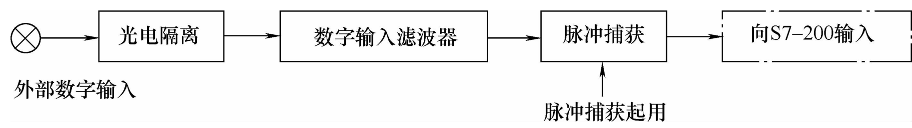


图 4-169　数字输入通道结构框图

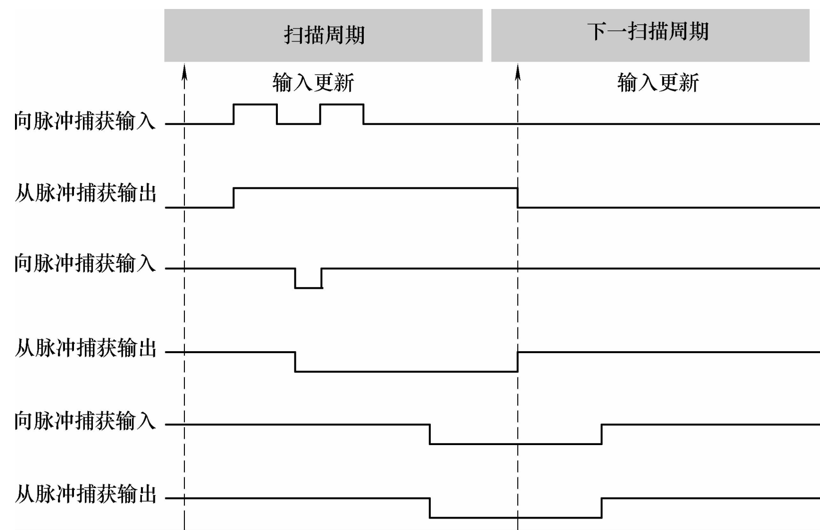


图 4-170　启用脉冲捕获功能对各种不同输入条件的输出结果

- 单击函按钮，进入“交叉引用”编辑窗口。
- 若程序未编译，只显示提示信息，如图 4-171 所示。
- 编译后的显示如图 4-172 所示。

在“交叉引用”表中，用鼠标双击某一行可以立即跳转到引用相应元件的位置，交叉引用表对查找程序中冲突和重叠的数据地址十分有用。

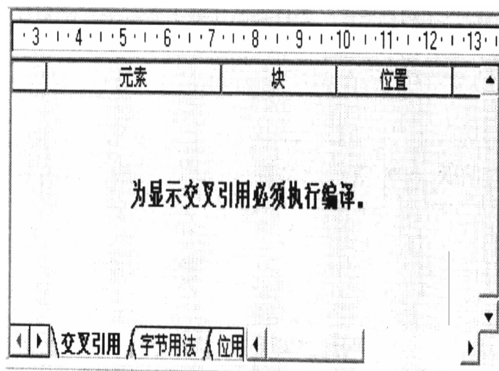


图 4-171　程序末编译的“交叉引用”编辑窗口

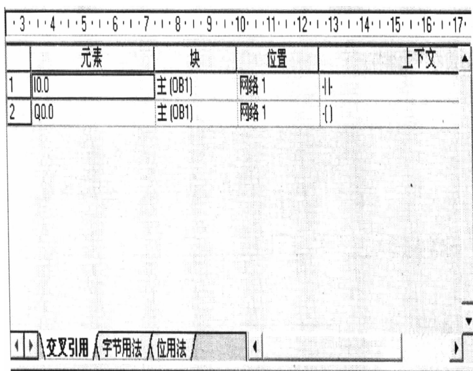


图 4-172　编译后的“交叉引用”编辑窗口

g. 通信

网络地址是用户为网络上每台设备指定的一个独特号码。该网络地址确保将数据传输至正确的设备，并从正确的设备检索数据。S7-200 支持 0 ~ 126 的网络地址。

单击按钮，进入“通信”编辑窗口，如图 4-173 所示。每台 S7-200CPU 的默认波特率为 9. 6K Band，默认网络地址为 2。

在设置 S7-200 选择参数后，必须在改动生效之前将系统块下载至 S7-200。

双击图标，刷新通信设置，这时可以看见 CPU 的型号和地址，说明通信正常，如图 4-174 所示。

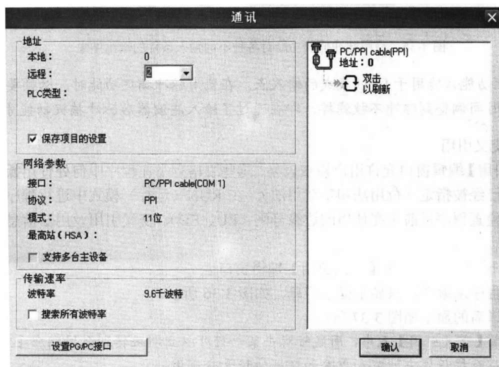


图 4-173　“通讯”编辑窗口

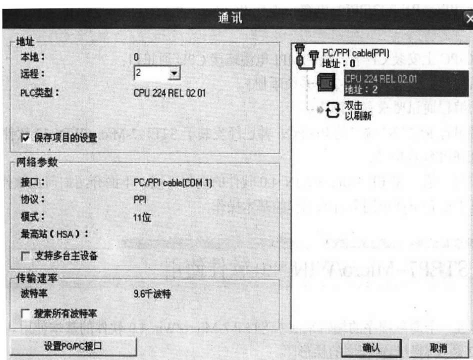


图 4-174　通讯设置刷新

h. 设置 PG/PC 接口

单击按钮，进入 PG/PC 接口参数设置窗口，如图 4-175 所示。

单击“Properties”按钮，进行地址及通信速率的配置，如图 4-176 所示。

3）PLC 与计算机通信

①与 CPU 通信，通常需要下列条件：

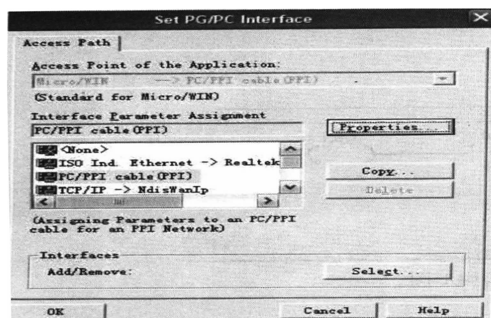


图 4-175　PG/PC 接口参数设置窗口

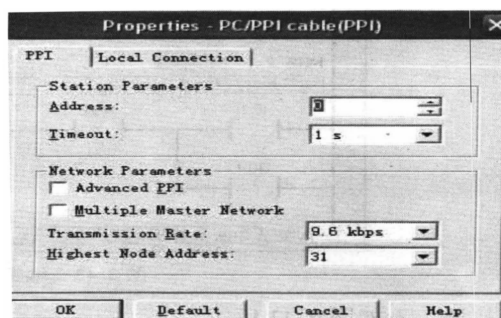


图 4-176　PC/PPI 接口参数设置窗口

a. PC/PPI（RS－232/PPI）电缆，连接 PG/PC 的串行通信口（COM 口）和 CPU 通信口。

b. PG/PC 上安装 CP 卡，通过 MPI 电缆连接 CPU 通信口。

c. 其他通信方式见《S7-200 系统手册》。

②基本的编程通信要求有以下几点：

a. 带串行 RS232C 端口的 PG/PC，并已经安装了 STEP 7-Micro/WIN3. 2 软件。

b. PC/PPI 编程电缆。

5. 升级版 STEP 7-Micro/WIN4. 0 软件的使用

上面介绍了 STEP 7-Micro/WIN4. 0 软件的编程环境，下面将主要通过图 4-177 所示一台电动机正反转控制实用程序的编辑示范来演示 STEP 7-Micro/WIN4. 0 软件的基本使用。

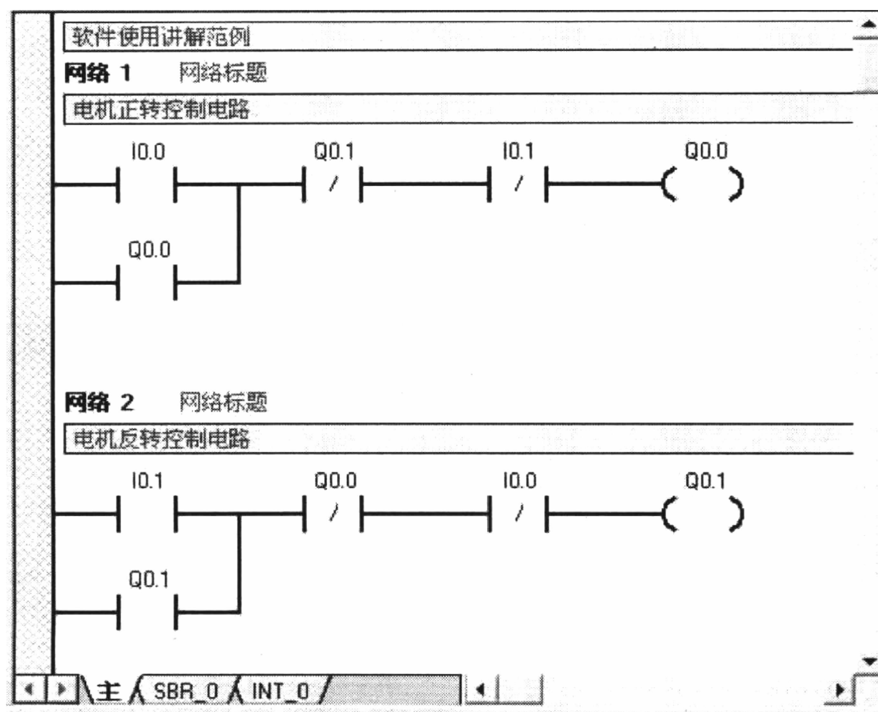


图 4-177　一台电动机正反转控制的梯形图程序

其语句表程序如图 4-178 所示；其功能图程序如图 4-179 所示。

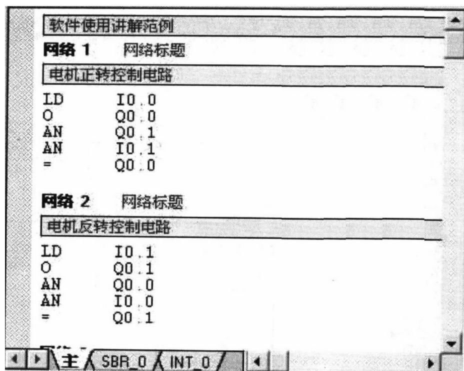


图 4-178　语句表程序

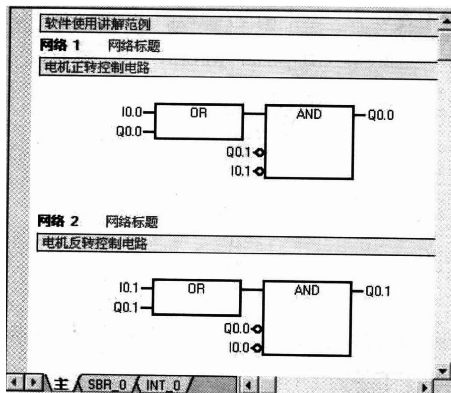


图 4-179　功能图程序

(1) 程序输入

1) 梯形图的编辑

①首先打开 STEP 7-Micro/WIN4.0，进入主界面，如图 4-180 所示。



图 4-180　STEP 7-Micro/WIN4.0 项目主界面

②选择按钮，双击则进入“程序块”编辑窗口。

③在指令树中选择常开触点，也可以直接在工具栏里选择，如图 4-181 所示。

④双击图标，常开触点会自动在程序编辑行出现，如图 4-182 所示。

⑤在“?? . ?”中输入地址 I0.0，如图 4-183 所示。

⑥用同样方法插入 -|/|- 和 -( )，并填写对应地址，完成 Q0.1、I0.1、Q0.0 元件的输入，如图 4-184 所示。

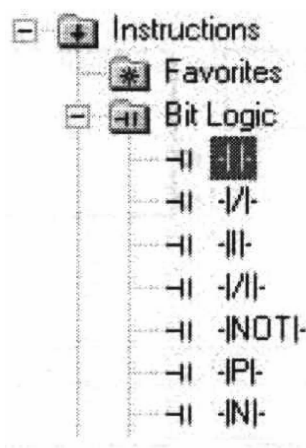


图 4-181　选择 -| |- 常开触点

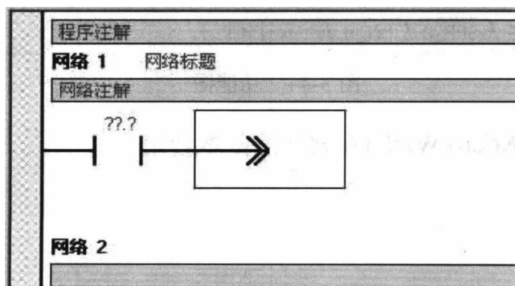


图 4-182　插入 -| |- 常开触点

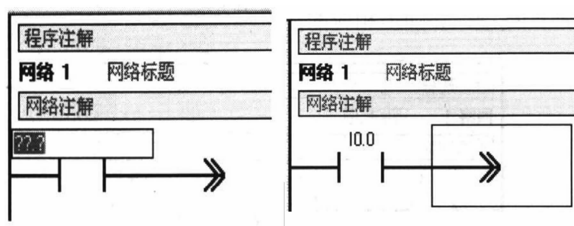


图 4-183　输入地址 I0.0

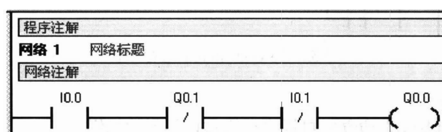


图 4-184　完成 Q0.1、I0.1、Q0.0 元件的输入

⑦鼠标选中要输入的新元件位置，如图 4-185 所示。

⑧插入 -| |-，并填写地址 Q0.0，如图 4-186 所示。

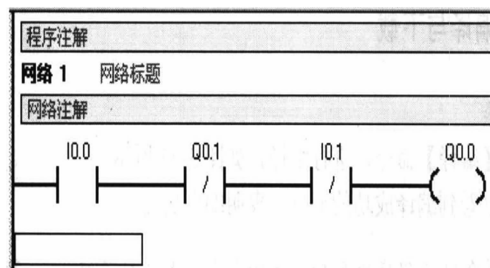


图 4-185　选中要输入的新元件位置

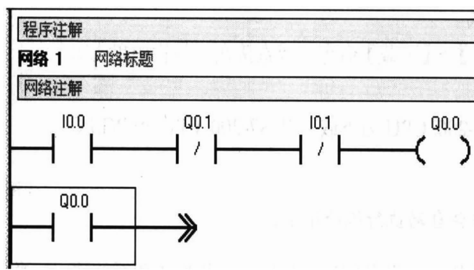


图 4-186　插入 -| |- 并填写地址 Q0.0

⑨单击 ↲ 按钮，将 Q0.0 和 I0.0 进行并联，如图 4-187 所示。

“网络 2”的输入可以按照上面的操作同样进行，不过“网络 2”的结构和“网络 1”相似，可以采用更快捷的方式完成。

a. 单击“网络 1”的装订线，然后单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择“复制”

命令。

b. 单击“网络2”的装订线，然后单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择“粘贴”命令。修改对应的地址，并加上相应的注释，程序就编辑完成了。

2）语句表的编辑。执行“检视”→“STL”命令，可以直接进行语句表的编辑。

3）功能图的编辑。执行“检视”→“FBD”命令，可以直接进行功能图的编辑。

（2）程序编译与下载

1）程序的编译。执行“PLC”→“编译”命令，进行编译，如图4-188所示。

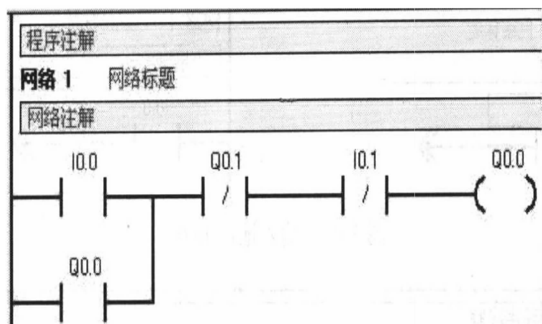


图4-187　将Q0.0和I0.0进行并联

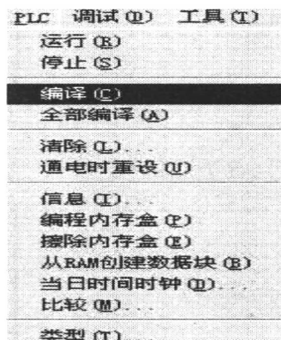


图4-188　程序的编译

在信息框中可以看到编译成功的消息，表明编译成功。

注意：输出窗口会显示程序块和数据块的大小，也会显示编译中发现的错误。双击错误信息可以在程序编辑器中跳转到相应程序段。

2）程序的下载

①执行“文件”→“下载”命令，或直接在工具栏中单击按钮进行下载。

从PG/PC到ST-200CPU为下载；从S7-200CPU到PG/PC为上传。

注意：下载操作会自动执行编译命令。

②选择下载的块，这里选择程序块、数据块和系统块，可将所选择的块下载到PLC中，如图4-189所示。

（3）程序运行与调试

程序的调试及运行监控是程序设计开发中的重要环节，很少有程序一经编制成就是完善的；只有经过试运行甚至现场运行才能发现程序中不合理的地方，从而进行反复修改和不断完善。STEP 7-Micro/WIN4.0编程软件提供了一系列工具，可使用户直接在软件环境下调试并监视用户程序的执行。

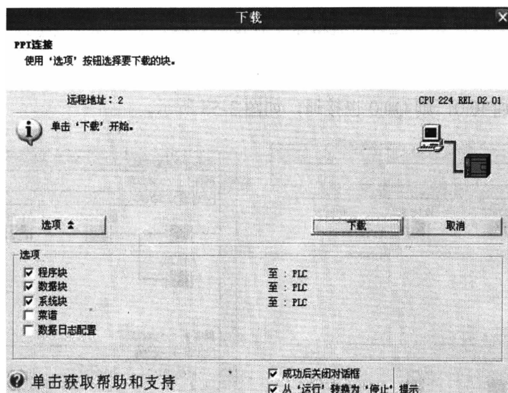


图4-189　选择下载的程序块、数据块和系统块

1）程序的运行

①单击工具栏中的按钮，或执行“PLC”→“运行”命令弹出“运行”对话框，如图4-190所示。

②单击“是”按钮，则 PLC 进入运行模式；这时黄色 STOP（停止）状态指示灯灭，绿色 RUN（运行）灯点亮。

接下来就可以开始调试前面所编辑的程序了。

2）程序的调试

①程序状态监控

a. 单击工具栏上的按钮或执行“调试”→“开始程序状态”命令，进入程序状态监控，如图 4-191 所示。

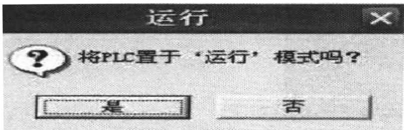


图 4-190　改变 CPU 的运行状态

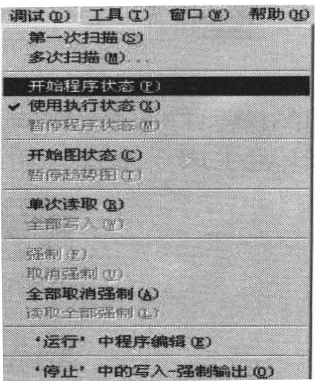


图 4-191　进入程序状态监控

b. 起动程序运行监控，如图 4-192 所示。

注意：“监控状态”下梯形图将每个元件的实际状态都显示出来。当 PLC 与计算机间的通信速率较慢时，程序监控状态不能完全如实显示变化迅速的元件状态。

c. 如果接通 I0. 0，则 Q0. 0 也接通，如图 4-193 所示。

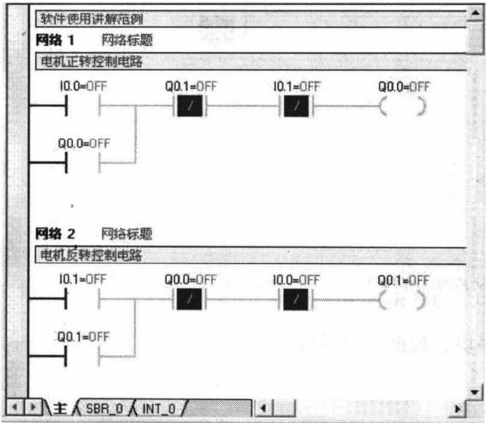


图 4-192　程序运行监控状态

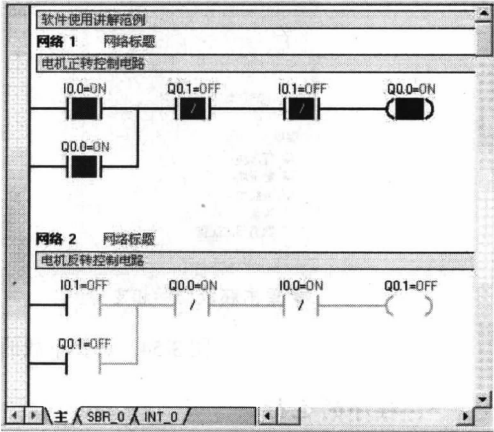


图 4-193　接通的 I0. 0 和 Q0. 0

注意：“能流”通过的元件将变色显示，通过施加输入，可以模拟程序实际运行，从而监控所运行的程序。

②状态图监控

a. 单击检视区的状态图按钮，进入状态图监控方式。

b. 单击按钮可以观察各个变量的变化情况，如图 4-194 所示。

c. 单击装订线，选择程序段，单击鼠标右键，选择“创建状态图”命令，如图 4-195 所示，能快速生成一个包含所选程序段内各元件的新表格。

	地址	格式	当前值	新数值
1	I0.0	位	2#1	
2	I0.1	位	2#0	
3	Q0.0	位	2#1	
4	Q0.1	位	2#0	

图 4-194　各个变量的变化情况

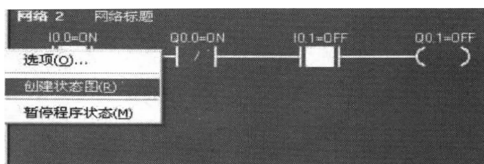


图 4-195　选择“创建状态图”命令

至此就完成了一个应用程序的编辑、编译、下载、运行、调试的整个过程。要熟练灵巧地掌握 S7-200PLC 的编程工具，还有待于反复地进行编程实践来提高。

4. 2. 6　S7-200 PLC 的编程规则与技巧

PLC 控制系统主要由硬件和软件两大部分组成。硬件提供整个系统运行的物理平台，软件则提供硬件工作时所需的各种指令。一个好的控制系统很大一部分取决于软件系统是否结构合理，执行效率高。因此对于编程人员来讲，如何根据实际系统的控制要求编写出简洁、高效的程序是很重要的。本节是在指令系统的基础上，主要对 S7-200 系列 PLC 程序的结构、编程规则和技巧、基本电路编程、顺序功能图编程等进行简要介绍。

1. S7-200 PLC 程序的结构

程序是运用相应的指令和数据，遵循一定的规律，编制成具有一定控制功能的信息语言。PLC 程序分为系统程序和应用程序（用户程序）。系统程序是 PLC 生产厂家编制的程序，存放在系统内存中，用于系统控制。用户程序是 PLC 用户根据被控对象的生产过程和工艺要求，为解决实际应用问题而编制的程序。这里介绍的 PLC 程序的结构是指用户程序的结构。

（1）用户程序的分类

S7-200 的控制程序分为主程序（OB1）、子程序（SBR0 ~ SBR63）和中断程序（INT0 ~ INT127）3 种。

1）主程序是用户程序的主体。在一个项目中只能有一个主程序。CPU 在每个扫描周期都要执行一次主程序指令。

2）子程序是程序的可选部分，最多可以有 64 个。合理地使用子程序，可以优化程序结构，减少扫描时间。子程序一般在主程序中被调用，也可以在子程序或中断程序中被调用。只有被调用的子程序，才能够执行。

3）中断程序也是程序的可选部分，是用来及时处理与用户程序的执行时序无关的操作，或者不能事先预测何时发生的中断事件，最多可以有 128 个。它的调用由各种中断事件触发，而不是由用户程序调用。中断事件一般有输入中断、定时中断、高速计数器中断和通信中断等。可能在其他程序中使用的寄存器也不允许被中断程序改写。

（2）S7-200 的程序结构

S7-200 系列 PLC 的用户程序结构可分为两种：线性程序结构和分块程序结构。

1）线性程序结构。线性程序结构是指一个工程的全部控制任务被分成若干个小的程序段，按照控制的顺序依次排放在主程序中，如图 4-196 所示。编程时，用程序控制指令将各个小的程序段依次链接起来；程序执行过程中，CPU 不断地扫描主程序，按照编写好的指令代码顺序地执行控制工作。

线性程序结构简单明了，但是仅适合控制量比较小的场合。控制任务越大，线性程序的结构就越复杂，PLC 执行效率就越低，系统越不稳定。

2）分块程序结构。分块程序结构是指一个工程的全部控制任务被分成多个任务模块，每个模块的控制任务由子程序或中断程序完成。编程时，主程序和子程序（或中断程序）分开独立编写；在程序执行过程中，CPU 不断地扫描主程序，碰到子程序调用指令就转移到相应的子程序中去执行，如图 4-197 所示，遇到中断请求就调用相应的中断程序。

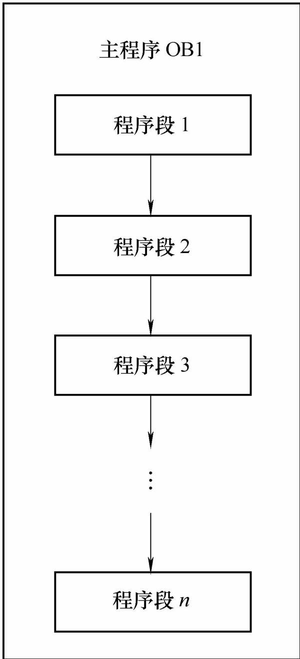


图 4-196　线性程序结构

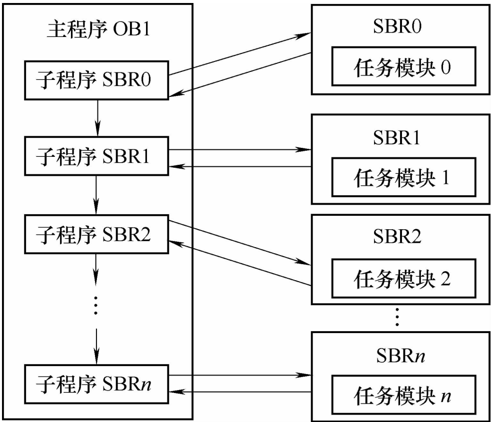


图 4-197　分块程序结构

分块程序结构虽然复杂一点，但是可以把一个复杂的控制任务分解成多个简单的控制任务。分块程序有利于代码编写，而且程序调试也比较简单。所以，对于一些相对复杂的工程控制，建议使用分块程序结构。

2. PLC 梯形图的编程规则和技巧

（1）梯形图的特点

1）梯形图按自上而下、从左到右的顺序排列。

2）梯形图中的继电器不是物理继电器，每个继电器均为储存器中的一位，因此称为“软继电器”。当储存器相应位的状态为“1”，表示该继电器线圈得电，其动合触点闭合或动断触点断开。

3）梯形图是 PLC 形象化的编程手段，梯形图两端的母线并非实际电源的两端，因此，梯形图中流过的电流也不是实际的物理电流，而是“概念”电流，是用户程序执行过程中满足输出条件的形象表现形式。

4）一般情况下，在梯形图中某个编号继电器线圈只能出现一次，而继电器触点（动合或动断）可无限次使用。

5）梯形图中，前面所示逻辑行逻辑执行结果将立即被后面逻辑行的逻辑操作所利用。

6）梯形图中，除了输入继电器没有线圈，只有触点外，其他继电器既有线圈，又有触点。

7）PLC 总是按照梯形图排列的先后顺序（自上而下，从左到右）逐一处理。也就是说，PLC 是按循环扫描工作方式执行梯形图程序。因此，梯形图中不存在不同逻辑行同时开始执行的情况，使得设计时可减少许多连锁环节，从而使梯形图大大简化。

（2）PLC 梯形图的编程规则与技巧

PLC 是逐行扫描、按照指令在用户程序存储器中的先后次序依次执行的，因此在编制梯形图程序时，必须遵循一定的规则，这样可以避免出现程序错误；同时元件或触点排列顺序对程序执行可能会带来很大影响，有时甚至使程序无法运行。为了使程序简短、清晰，执行速度快，也要掌握一定的编程技巧，使编程最优化，常需要对梯形图电路加以变换和化简。PLC 梯形图的编程规则与技巧很多，这里仅举例说明其中重要的几点。

1）梯形图的各种符号，要以左母线为起点，右母线为终点（可允许省略右母线）从左到右分行绘出。每一行的开始是触点群组成的“工作条件”，最右边是线圈表达的“工作结果”。换句话说，与每一个线圈连接的全部支路形成一个逻辑关系（实现一组逻辑关系，控制一个动作），线圈只能接在右边的母线，并且所有的触点不能放在线圈的右边，放在线圈的右边的触点不能编译，如图 4-198 所示。一行写完，自上而下依次再写下一行。

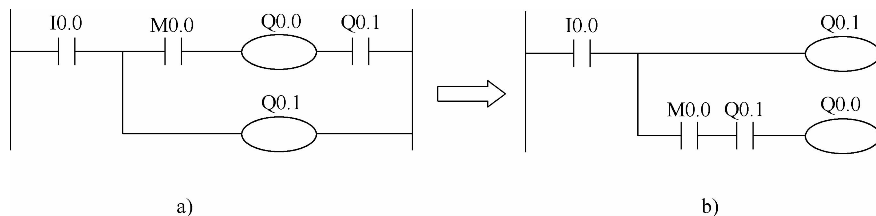


图 4-198　线圈的连接

a）错误　b）正确

2）在梯形图中，每行串联的触点数或每组并联的触点数理论上不受限制。但使用图形编程器编程时，它们要受到屏幕尺寸的限制。建议串联触点一行不超过 10 个，每组并联触点不超过 24 行。如图 4-199 所示。

3）在梯形图中，每组并联输出的线圈数或每组连续输出的线圈数理论上不受限制。但使用图形编程器编程时，它们要受到屏幕尺寸的限制。建议每组不得超过 24 行，如图 4-200 所示。

4）输入继电器的线圈只能由连接在 PLC 输入端子上的外部输入信号控制，所以梯形图中只有输入继电器的触点是用来表示对应输入端子上的输入信号，而没有线圈表示。

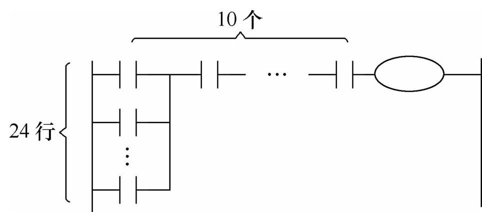


图 4-199　梯形图中的串/并联触点数

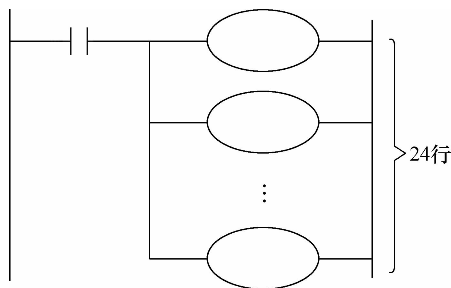


图 4-200　梯形图中的并联联线圈数

5）在梯形图中，所有编程元件的线圈不能与左母线直接连接，即它们之间必须连接有触点。如果需要 PLC 在开机时就有输出，可以通过一个没有使用的辅助继电器的常闭触点来连接，如图 4-201 所示。

6）在梯形图中，所有编程元件的线圈不能串联连接，如图 4-202 所示。

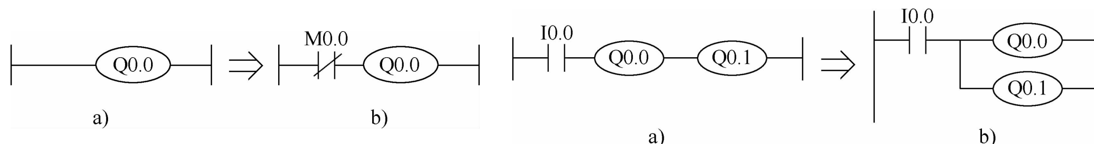


图 4-201　没有触点的线圈连接方法
a）错误　b）正确

图 4-202　线圈位置的放置
a）错误　b）正确

7）某一线圈在同一程序中一般只能出现一次，否则容易引起误操作。如果在同一程序中同一元件的线圈使用两次或多次，称为双线圈输出。PLC 顺序扫描执行的规定，这种情况如果出现时，前面的输出无效，最后一次输出有效，所以无论线圈的输出条件多么复杂，也禁止双线圈输出，如图 4-203 所示。只有在同一程序中绝不会同时执行的不同程序段中可以有相同的输出线圈。对于设置有跳转指令的程序，在 2 个跳转条件相反的跳转区内，可以使用同一编号的线圈。

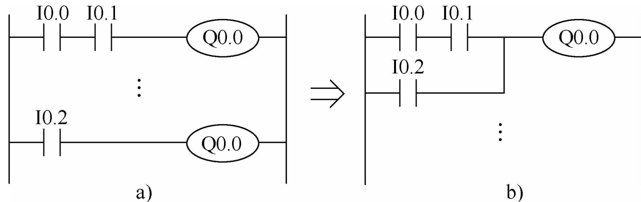


图 4-203　双线圈输出处理
a）错误　b）正确

8）不包含触点的分支应放在垂直方向，不可放在水平位置，以便于识别触点的组合和对输出线圈的控制路径，如图 4-204 所示。

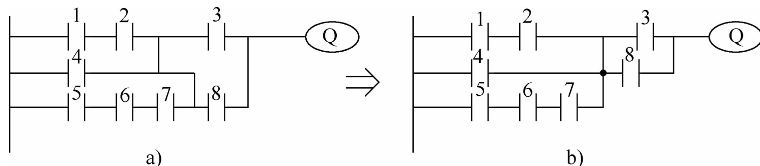


图 4-204　梯形图的编程规则说明示例
a）错误　b）正确

9）电路简化。电路简化可使编程优化，从而使程序结构简单、步数最少、节省内存、提高对用户程序的响应速度；使得较难处理的电路编程变得容易。

①多个串联支路并联时，应把串联触点最多的支路编排在最上方，这样可减少程序步数，以节省存储器空间和缩短扫描周期。

②多个并联回路串联时，应把并联触点最多的回路编排在最左边，这样可减少程序步数，以节省存储器空间和缩短扫描周期。

图 4-205 所示的两个梯形图实现的逻辑功能一样，但程序繁简程度却不同。图 4-205a 和图 4-205b 的不同在于：将串联的两部分电路左、右对换后，并联的两个分支上、下对换。变换后，原有的逻辑关系不变，但程序却简化了。经验证明，梯形图变换可遵循“左重右轻”（并连分支多的电路块放最左边）、“上重下轻”（串联触点多的电路分支放最上边）的原则。

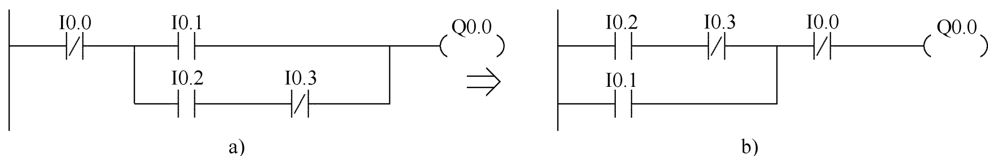


图 4-205　梯形图简化

a）较繁的梯形图　b）较简的梯形图

图 4-205a 的语句表如下：

```
LDN   I0. 0
LD    I0. 1
LD    I0. 2
AN    I0. 3
OLD
ALD
=     Q0. 0
```

图 4-205b 的语句表如下：

```
LD    I0. 2
AN    I0. 3
O     I0. 1
AN    I0. 0
 =    Q0. 0
```

③并联线圈电路从分支点到线圈之间，无触点的线圈应放在最上方，这样可以减少程序步数，以节省存储器空间和缩短扫描周期，如图 4-206 所示。

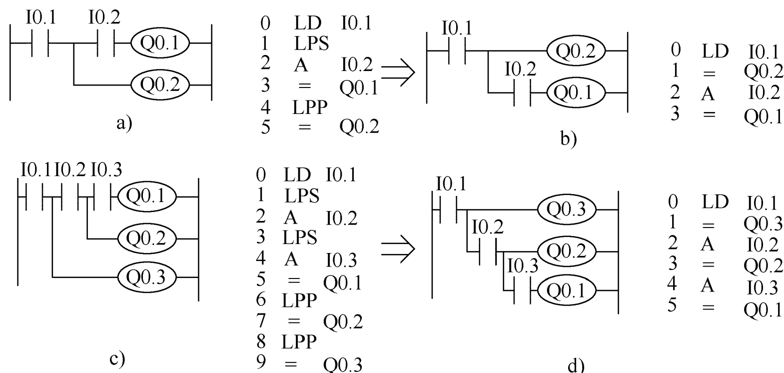


图 4-206　并联线圈电路的编排

a）不好　b）好　c）不好　d）好

10）应使梯形图的逻辑关系尽量清晰明了，便于阅读检查和输入程序。编写 PLC 程序时，输入继电器 I、输出继电器 Q、辅助继电器 M、定时器 T、计数器 C 等编程元件的触点可以多次重复使用而不受限制。因此，在编程时应以回路清晰为主要目的，而无需用复杂的程序结构来减少触点的使用次数。图 4-207a 中逻辑关系就不够清楚，给编程带来不便。改画为图 4-207b 后，程序虽然指令条数增多，但逻辑关系清楚，便于阅读和编程。

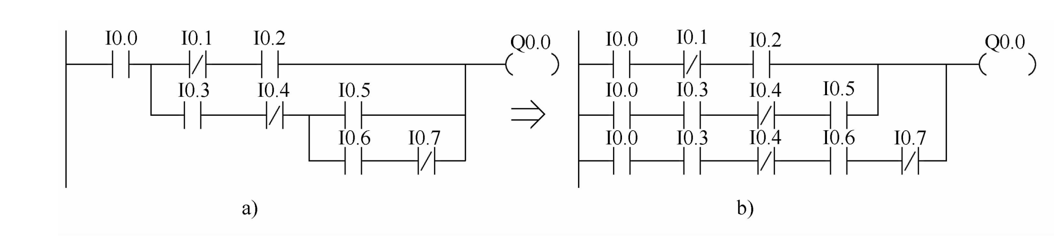


图 4-207　PLC 梯形图

a）逻辑关系差的梯形图　b）逻辑关系清楚的梯形图

图 4-207a 的语句表如下：

LD　I0. 0
LDN　I0. 1
A　I0. 2
LD　I0. 3
AN　I0. 4
LD　I0. 5
LD　I0. 6
AN　I0. 7
OLD
ALD
OLD
ALD
=　Q0. 0

图 4-207b 的语句表如下

LD　I0. 0
AN　I0. 1
A　I0. 2
LD　I0. 0
A　I0. 3
AN　I0. 4
A　I0. 5
OLD
LD　I0. 0
A　I0. 3
AN　I0. 4
A　I0. 6
AN　I0. 7
OLD
=　Q0. 0

11）应避免出现无法编程的梯形图。如触点应画在水平线上，不能画在垂直分支线上，即在梯形图中，“电流”的方向只能由左向右流动，而不能双向流动。在图 4-208 所示的桥式电路中，由于触点 I0. 4 处有双向电流通过，所以该电路不符合编程规则，不能直接进行编程。对于这类电路，必须使用电路等效变换的方法进行变换处理后编程。图 4-208a 所示的桥式电路无法编程，可改画成图 4-208b 所示形式。

12）对常闭触点输入的编程处理。对输入外部控制信号的常闭触点，在编制梯形图时要特别小心，否则可能导致编程错误。现以一个常用的电动机起动、停止控制电路为例，进行详细分析说明。

图 4-208b 的语句表如下：

```
LD    I0.0
LD    I0.3
A     I0.4
OLD
A     I0.1
LD    I0.3
A     I0.5
OLD
LD    I0.0
A     I0.4
A     I0.5
OLD
AN    I0.2
=     Q0.0
```

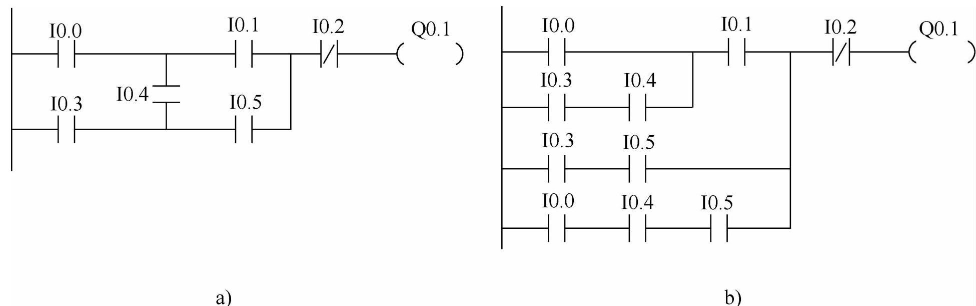


图 4-208　避免无法编程的梯形图

a）无法编程的梯形图　b）可以编程的梯形图

电动机起动和停止控制电路如图 4-209a 所示，使用 PLC 控制的输入输出接线图如图 4-209b 或图 4-209d 所示，对应的梯形图如图 4-209c 或图 4-209e 所示。从图 4-209b 中可见，由于停止按钮 SB2（常闭触点）和 PLC 的公共端 COM 已接通，在 PLC 内部电源作用下输入继电器 I0.1 线圈接通，这时在图 4-209e 中的常闭触点 I0.1 已断开，所以按下起动按钮 SB1（常开触点）时，输出继电器 Q0.0 不会动作，电动机不能起动。解决这类问题的方法有两种：一是把图 4-209e 中常闭触点 I0.1 改为常开触点 I0.1，如图 4-209c 所示；二是把停止按钮 SB2 改为常开触点，如图 4-209d 所示。

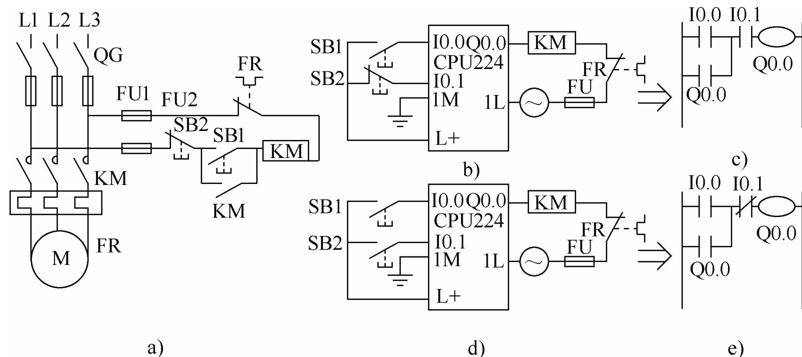


图 4-209　对电动机起动停止控制电路中常闭触点输入的编程处理

从上面分析可知，如果外部输入为常开触点，则编制的梯形图与继电器控制原理图一致；但是，如果外部输入为常闭触点，那么编制的梯形图与继电器控制原理图刚好相反。一

般为了与继电器控制原理图相一致，减少对外部输入为常闭触点处理上的麻烦，在 PLC 的实际接线图中，尽可能不用常闭触点，而用常开触点作为输入，如图 4-209d 所示。

4.2.7　PLC 控制中常用的基本电路编程环节

PLC 控制大多是由一些最基本的、典型的逻辑控制电路环节组合而成的。如果能够熟练掌握一些最常用的 PLC 控制基本电路程序的设计原理、方法及编程技巧，在编制大型和复杂程序时，就能够轻车熟路，大大缩短编程的时间。

1. 自锁、互锁和连锁控制

自锁、互锁和连锁控制是 PLC 控制电路中最基本的环节。常用于对输入开关和输出映像寄存器的控制电路。

（1）自锁控制

自锁控制是 PLC 控制程序中常用的控制程序形式，也是人们常说的电动机“启-保-停”控制。如图 4-210 所示。

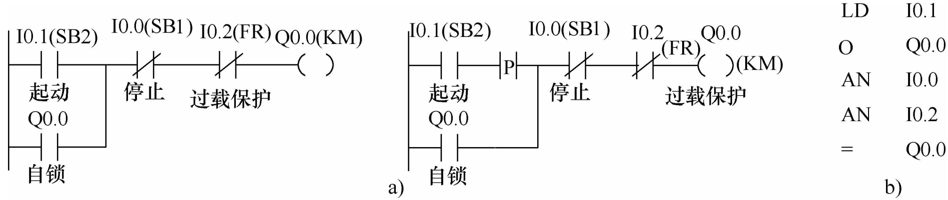


图 4-210　自锁控制

a）梯形图　b）语句表

这种依靠自身触点保持继电器（接触器）线圈得电的自锁控制常用于以无锁定开关作起动开关，或用只接通一个扫描周期的触点去起动一个持续动作的控制电路。

（2）互锁控制

互锁控制就是在两个或两个以上输出映像寄存器网络中，只能保证其中一个输出映像寄存器接通输出，而不能让两个或两个以上输出映像寄存器同时输出，避免了两个或两个以上输出映像寄存器不能同时动作的控制对象同时动作。如图 4-211 所示，Q0.1 和 Q0.0 不能同时动作。电动机的正转和反转、Y-△、高/低速、能耗制动；工作台的前进和后退；摇臂的松开和夹紧等都需要这样的控制。

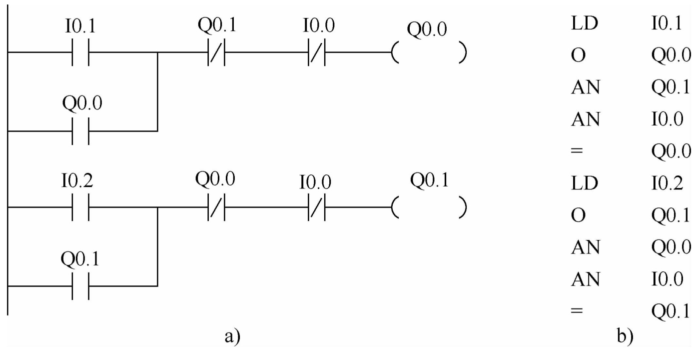


图 4-211　互锁控制

a）梯形图　b）语句表

（3）连锁控制

图 4-212 是一种互相配合控制程序段例子。它实现的功能是；只有当 Q0.0 接通时，Q0.1 才有可能接通；只要 Q0.0 断开，Q0.1 就不可能接通。也就是说，一方的动作是以另一方的动作为前提的。这种相互配合的连锁控制常用于一方的动作后才允许另一方动作的对象，比如机床控制中只有冷却风机或油泵电动机先起动后才允许主轴电动机起动等控制电路中。

2. 电动机的单按钮“按启按停”控制

在大多数电气设备的控制中，电动机的起动和停止操作通常是由两个按钮分别控制的。如果 1 台 PLC 控制多个这种具有起动/停止操作的设备时，势必占用很多输入点。有时为了节省输入点，可通过软件编程，实现用单按钮控制电动机的起动/停止。即按一下该按钮，输入的是起动信号；再按一下该按钮，输入的则是停止信号；单数次为起动信号，双数次为停止信号。若 PLC 控制的接线图如图 4-213 所示，可实现的编程方法如下：


```
LD   I0.1
O    Q0.0
AN   I0.0
=    Q0.0
LD   I0.2
O    Q0.1
A    Q0.0
AN   I0.0
=    Q0.1
```

b)

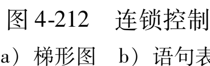


图 4-212　连锁控制

a）梯形图　b）语句表

图 4-213　PLC 控制的接线图

（1）利用上升沿指令编程

PLC 控制电路的梯形图如图 4-214a 所示。I0.0 作为起动/停止按钮相对应的输入继电器，第一次按下时 Q0.0 有输出（起动）；第二次按下时 Q0.0 无输出（停止）；第三次按下时 Q0.0 又有输出；第四次按下时 Q0.0 无输出（停止）；……。图 4-214c 为其工作时序图。


```
LD  I0.0
EU
=   M0.0
LD  M0.0
A   Q0.1
=   M0.2
LD  M0.0
O   Q0.1
AN  M0.2
=   Q0.1
```

b)

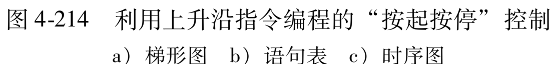


图 4-214　利用上升沿指令编程的“按起按停”控制

a）梯形图　b）语句表　c）时序图

（2）采用上升沿指令和置位/复位指令编程

采用上升沿指令和置位/复位指令编程的“按起按停”PLC 控制电路的梯形图和语句表如图 4-215a 所示，其工作时序图同图 4-214c。

（3）采用计数器指令编程

采用计数器指令编程的“按起按停”PLC 控制电路的梯形图和语句表如图 4-215b 所示，其工作时序图同图 4-214c。

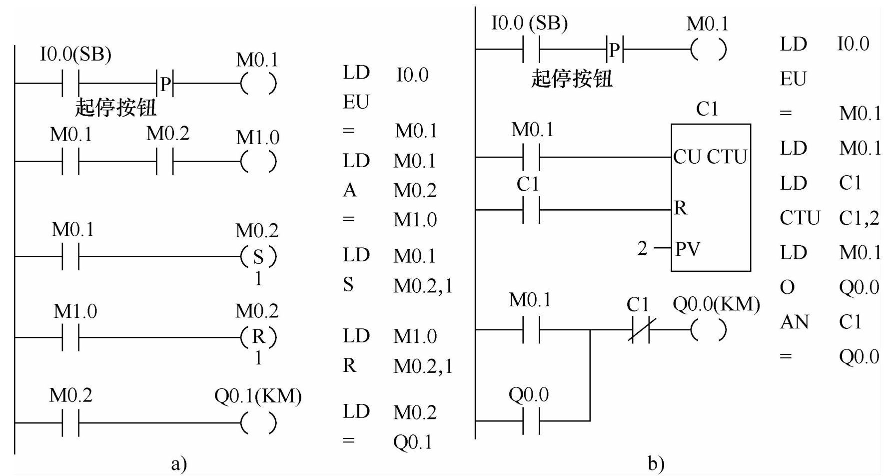


图 4-215　利用另外两种方法编程的“按起按停”控制

a）采用上升沿指令和置位/复位指令编程　b）采用计数器指令编程

3. 电动机正、反转控制

电动机正、反转控制是电动机控制的重要内容，是一个 PLC 控制系统开发人员必须熟练掌握和应用的重要环节。其电气控制原理图和 PLC 控制接线图如图 4-216 所示；PLC 控制的梯形图如图 4-217 所示。

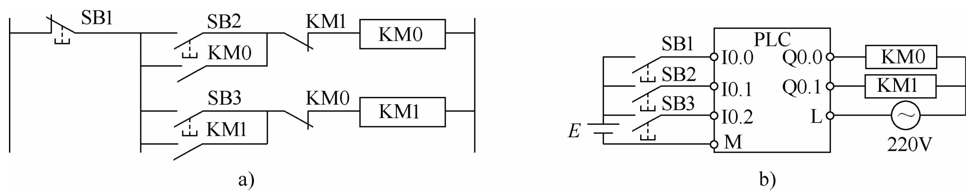


图 4-216　电动机正、反转控制的电气控制原理图和 PLC 控制接线图

a）电气控制原理图　b）PLC 控制接线图

该环节运用了自锁、互锁等基本控制程序，实现常用的电动机正、反转控制。因此，可以说基本控制程序是基本、大型和复杂程序的基础。在实际设计程序时，还要考虑控制动作是否会导致电源瞬时短路等情况，如图 4-217b 在正反转的转换过程中加上适当的延时；必要时还应在 PLC 外部电路中加接触器硬件互锁等。

4. 行程开关控制的工作台自动循环控制电路

（1）工作台工作示意图及 PLC 控制接线图如图 4-218 所示。

（2）PLC 控制的梯形图如图 4-219 所示。

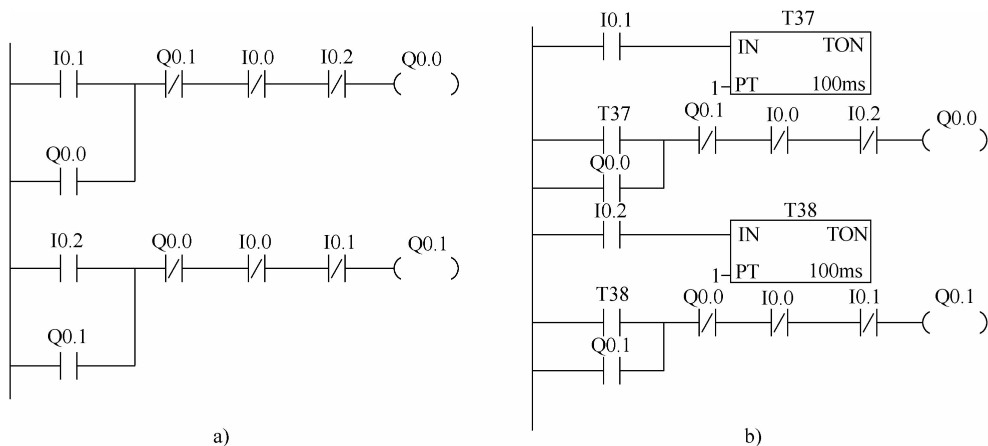


图 4-217　电动机正、反转的 PLC 控制梯形图

a）不加延时的控制　b）加上延时的控制

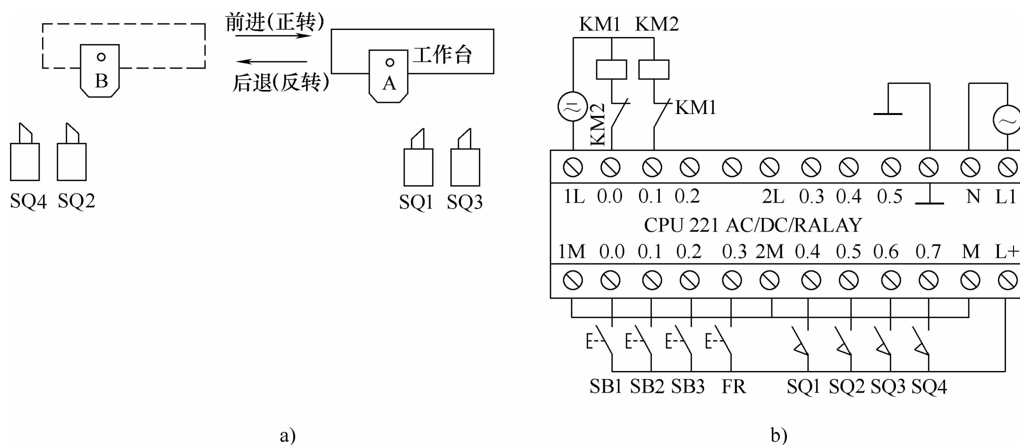


图 4-218　工作台工作示意图及 PLC 控制接线图

a）工作台工作示意图案　b）PLC 控制接线图

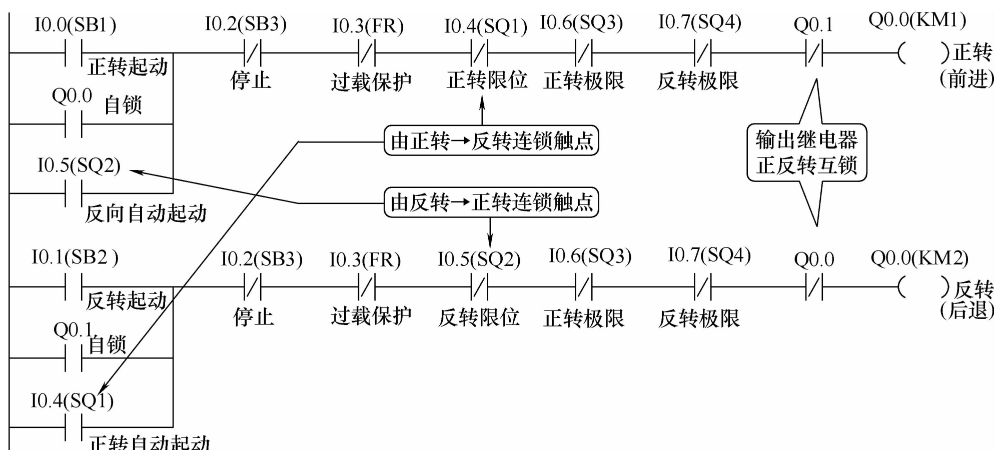


图 4-219　工作台 PLC 控制的梯形图

5. 电动机的软起动控制

电动机的软起动控制又称为电动机定子串电阻起动控制，属电动机控制中的常见控制环节。电动机的软起动控制程序说明了带短路软起动开关的笼型三相异步电动机的自动起动过程。通过这种短路软起动控制，首先保证电动机减速起动，一定时间段后达到额定转速。图 4-220 是电动机的软起动控制的 PLC 外部接线图。其起动按钮接在输入端 I0.0，起动按钮关闭时实现电动机软起动。停止按钮接在输入端 I0.1，停止按钮断开时，电动机停止。电动机热继电器接在输入端 I0.2，当电动机过载时电动机电路断路器断开，电动机停止。其梯形图程序和语句表程序，如图 4-221 所示。

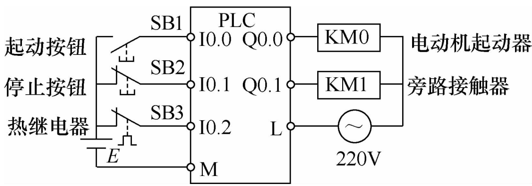


图 4-220　电动机软起动控制的 PLC 外部接线图

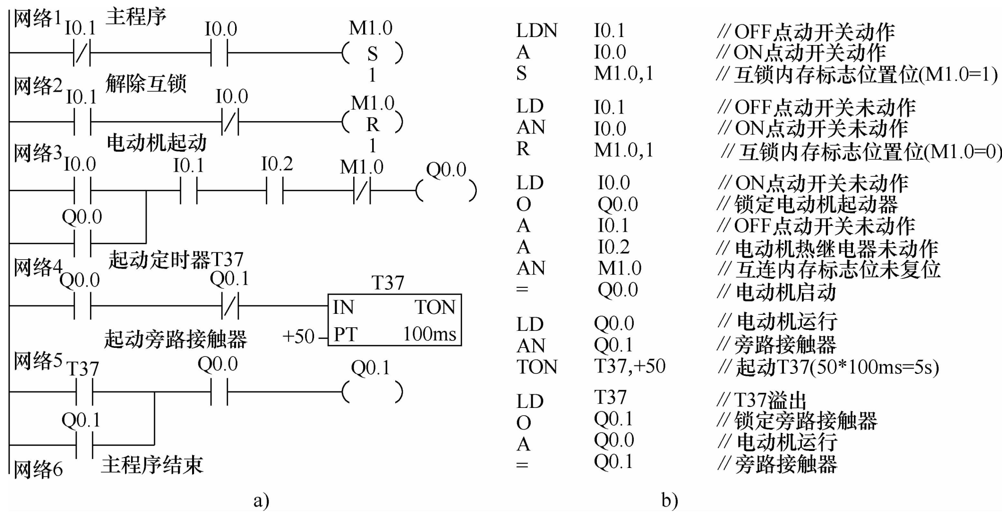


图 4-221　电动机软起动控制的梯形图和语句表程序

a）梯形图　b）语句表

电动机起动运行的条件是：内存标志位 M1.0 互锁取消。如果接在输入端 I0.0 的常开触点和接在输入端 I0.1 的常闭触点同时动作（即：I0.0 为 ON，I0.1 为 OFF），则设置内存标志位 M1.0 互锁，直至两个点动开关又回到初始状态，才取消互锁。

内存标志位 M1.0 互锁取消后，按下 0.0 的常开触点，即 ON 时，无互锁（M1.0），电动机电路断路器（I0.2）常闭触点未动作，I0.1 的常闭触点未动作。另外，再通过对 Q0.0 动作或逻辑运算完成起动锁定。此时，起动电阻还未被短接，电动机定子串电阻减速起动。如果电动机已起动（Q0.0），并且用于旁路接触器的输出 Q0.1 还未被置位，计时器 T37 开始计时，计时 5s 后，如果电动机仍处于起动状态（Q0.0），则起动接在输出端 Q0.1 的旁路接触器，通过对 Q0.1 动作或逻辑运算完成旁路锁定，电动机正常运行。

6. 电动机Y-△减压起动控制

电动机Y-△减压起动控制是异步电动机起动控制中的最典型控制环节，属常用控制小

系统。其电气控制原理图和 PLC 控制接线图，如图 4-222 所示；PLC 控制的梯形图如图 4-223 所示。

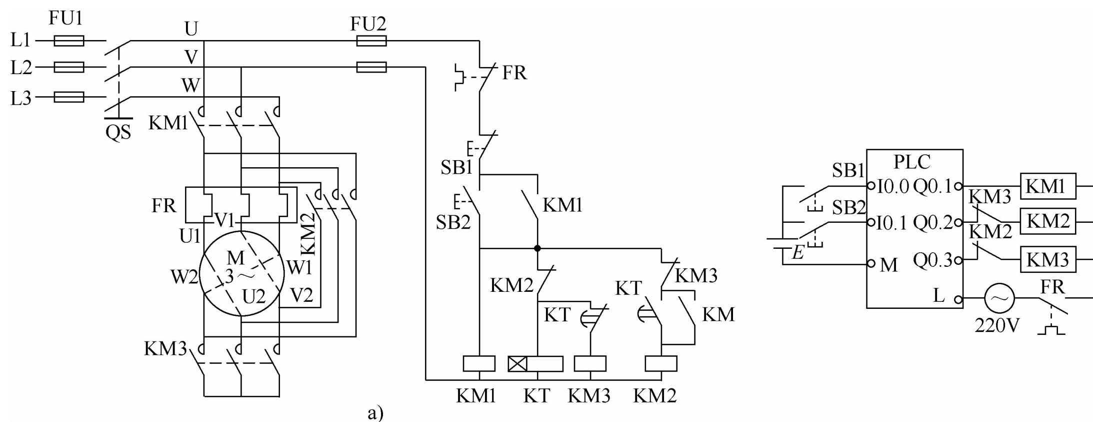


图 4-222　电动机Y-△减压起动的电气控制原理图和 PLC 控制接线图

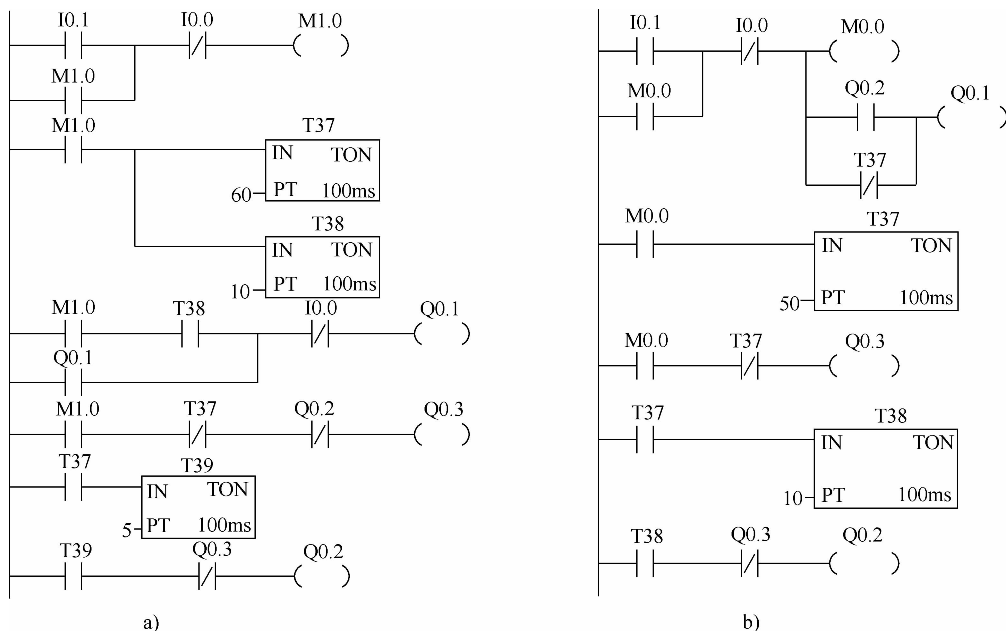


图 4-223　电动机Y-△减压起动的 PLC 控制梯形图

a）方案 1　b）方案 2

电动机Y-△减压起动属常用控制小系统，在 4-223a 程序中，使用 T37、T38、T39 定时器将电动机的星形（Y）减压起动到三角形（△）全压运行过程进行控制，在 Q0. 2 和 Q0. 3 两梯级中，分别加入互锁触点 Q0. 3 与 Q0. 2，保证 KM2 和 KM3 不能同时通电，此外，定时器 T39 定时 0. 5s，目的是 KM3 接触器断电灭弧，避免了电源瞬时短路。在 4-223b 程序

中，使用 T37 定时器，将 KM1 和 KM3 同时通电，电动机星形（Y）减压起动 5s，而后将 KM1 断电，使用 T38 定时器，将 KM2 通电后，再让 KM1 通电，同样避免了电源瞬时短路。两控制程序均实现了电动机起动到平稳运行，说明实现相同的控制任务，可以设计出的控制程序不是唯一的，读者可根据控制的实际情况，开发出更好的控制程序。

7. 三相电动机的能耗制动控制

在电动机脱离三相交流电源后，旋转磁场消失，这时在定子绕组上外加一个直流电源，形成一个固定磁场。高速旋转的转子切割固定磁场，使电动机变为了发电动机，转子高速旋转所存储的机械能变成电能快速消耗掉，达到能耗制动的目的。

（1）桥式整流能耗制动

桥式整流能耗制动的电路图，如图 4-224 所示。在图 4-224a 控制电路中，当按下停止复合按钮 SB1 时，其动断触点切断接触器 KM1 的线圈电路，同时其动合触点将 KM2 的线圈电路接通，接触器 KM1 和 KM2 的主触点在主电路中断开三相电源，接入直流电源进行制动，松开 SB1，KM2 线圈断电，制动停止。由于用复合按钮控制，制动过程中按钮必须始终处于压下状态，操作不便。图 4-224b 采用时间继电器实现自动控制，当复合按钮 SB1 压下以后，KM1 线圈失电，KM2 和 KT 的线圈得电并自锁，电动机开始制动，KT 开始计时。KT 延时时间到，制动结束，时间继电器 KT 的延时动断触点断开 KM2 线圈电路，切断直流制动电源。

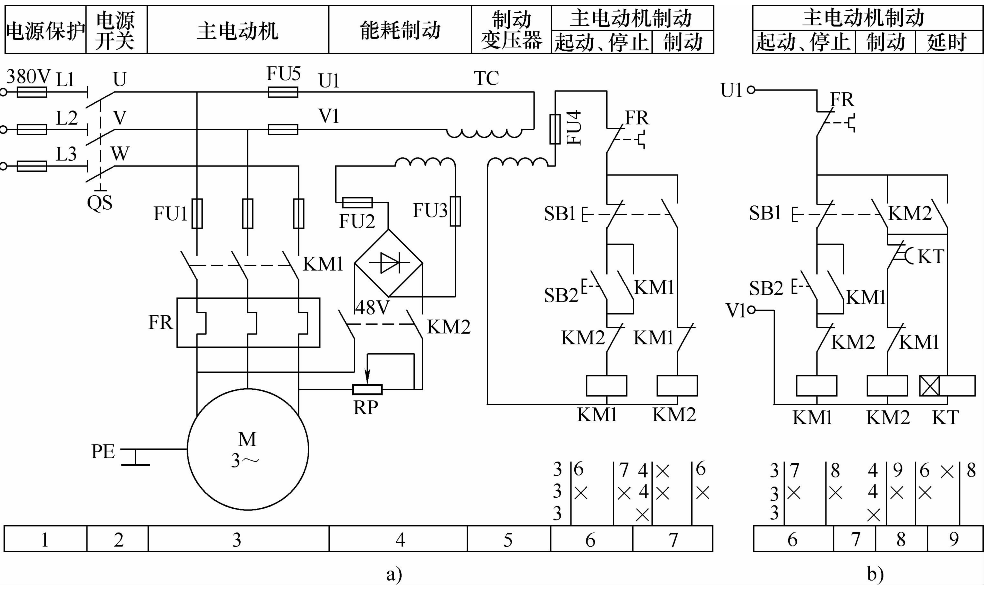


图 4-224　三相电动机的能耗制动的电路图

利用 PLC 实现三相异步电动机的能耗制动自动控制的 I/O 接线图和梯形图程序，如图 4-225 所示。

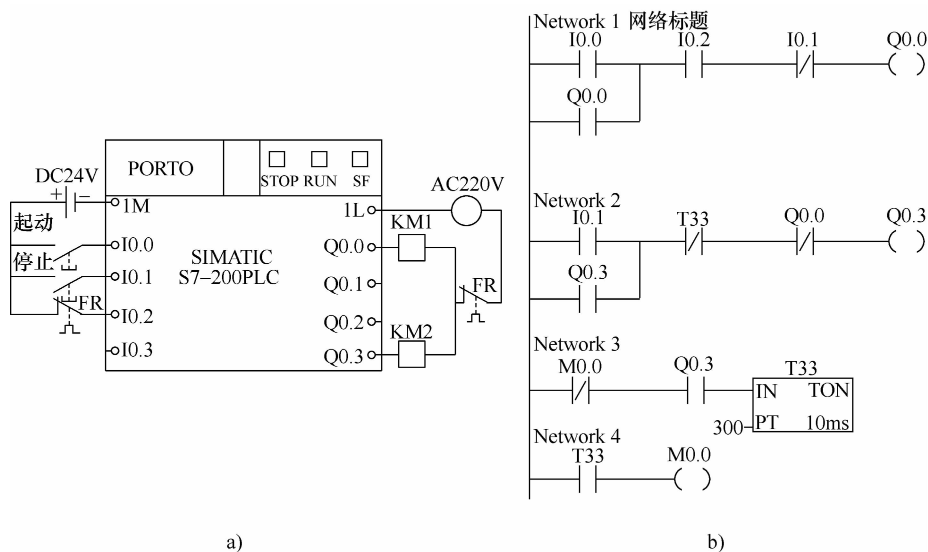


图 4-225　三相电动机的能耗制动自动控制的 I/O 接线图和梯形图

a）I/O 接线图　b）梯形图程序

（2）单管能耗制动控制

电动机单管能耗制动控制的硬件电路图如图 4-226 所示。

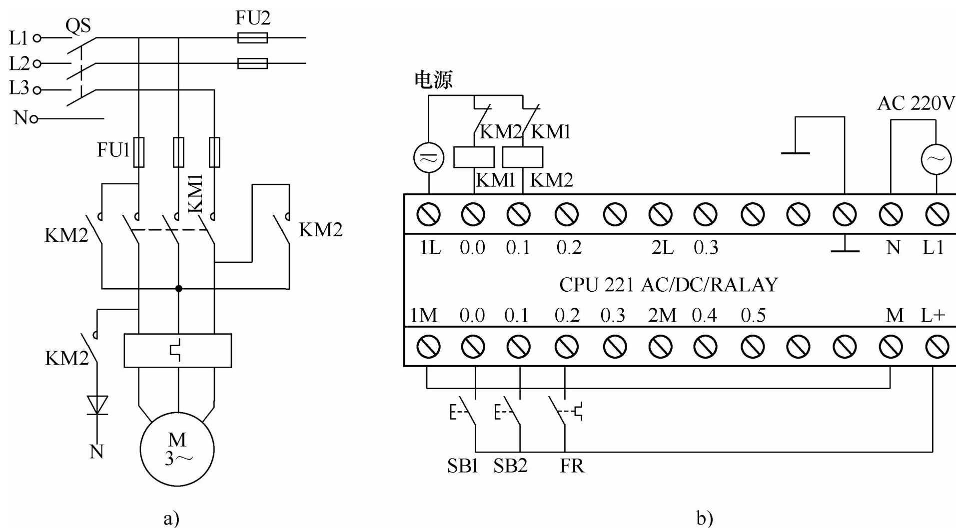


图 4-226　电动机单管能耗制动控制的硬件电路图

a）主电路　b）PLC 的 I/O 接线

电动机单管能耗制动控制的梯形图程序如图 4-227 所示。

8. 电动机串电阻减压起动和反接制动控制

电动机串电阻减压起动和反接制动控制的硬件电路图如图 4-228 所示。

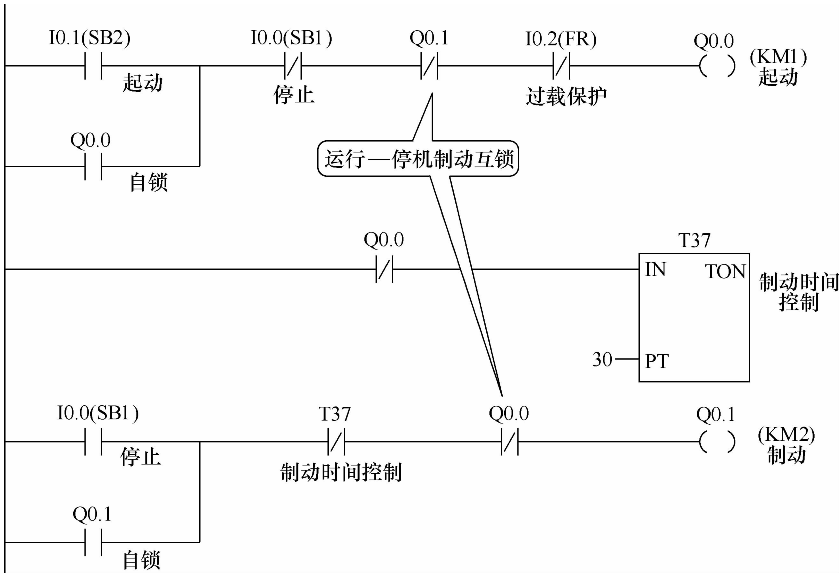


图 4-227　电动机单管能耗制动控制的梯形图程序

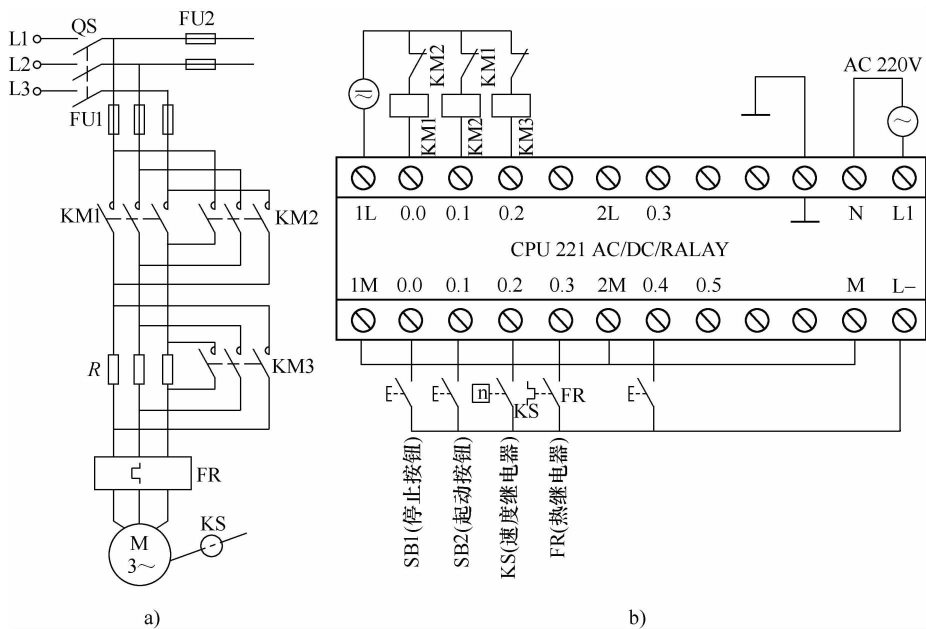


图 4-228　电动机串电阻减压起动和反接制动控制的硬件电路图

a）主电路　b）PLC 的 I/O 接线

电动机串电阻减压起动和反接制动控制的梯形图程序，如图 4-229 所示。

9. 用比较指令编程的电动机顺起/逆停的的 PLC 控制

（1）控制要求

有三台电动机 M1、M2 和 M3，按下起动按钮，电动机按 M1、M2 和 M3 顺序起动；按下停止按钮，电动机按 M3、M2 和 M1 逆序停止。电动机的起动时间间隔为 1min，停止时间

间隔为 30s。

（2）PLC 的 I/O 配置和实际接线图

PLC 的 I/O 配置如表 4-58，其实际接线图如图 4-230。

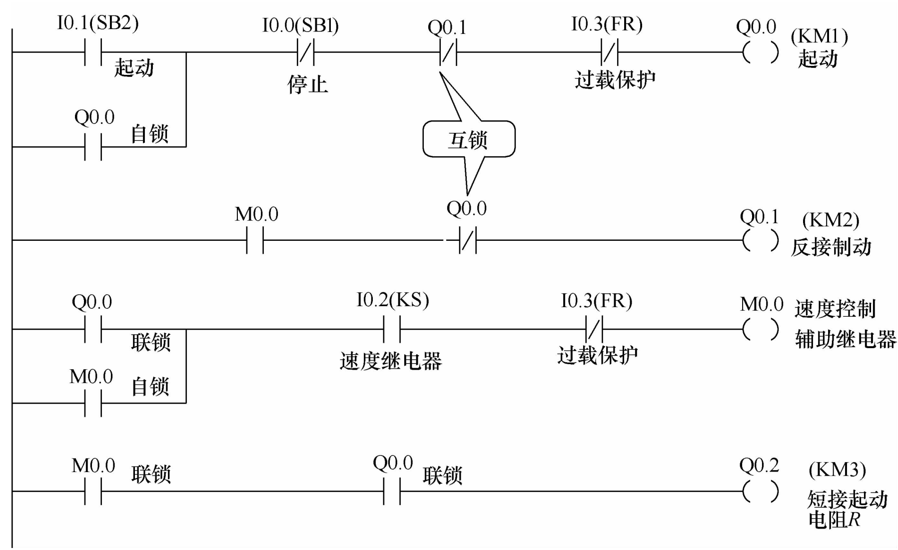


图 4-229　电动机串电阻减压起动和反接制动控制的梯形图

表 4-58　PLC 的 I/O 配置

输入设备		PLC 输入继电器	输出设备		PLC 输出继电器
代号	功能		代号	功能	
SB1	起动按钮	I0.0	KM1	接触器	Q0.0
SB2	停止按钮	I0.1	KM2	接触器	Q0.1
			KM3	接触器	Q0.2

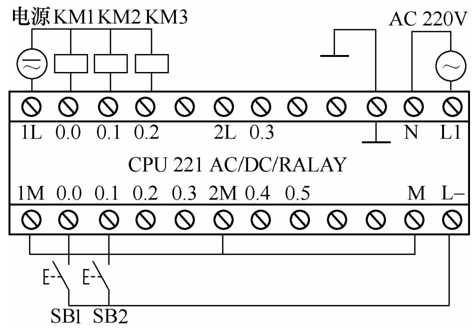


图 4-230　PLC 的实际接线图

（3）PLC 控制的梯形图程序

PLC 控制的梯形图程序如图 4-231 所示。图中电动机的起动和关断信号均为短信号。T38 为断电延时定时器，其计时到设定值后，当前值停在设定值不再计时。38 的定时值设定为 600，这使得再次按起动按钮 I0.0 时，T38 不等于 600 的比较触点为闭合状态，M1 能够正常起动。从图中可以看出，使用一些复杂指令，可以位程序变得简单。

10. 用移位寄存器指令编程的 4 台电动机 M1～M4 的顺序控制

（1）控制要求

起动的顺序为 M1→M2→M3→M4，顺序起动的时间间隔为 2min。起动完华，进入正常运行，直到停机。

（2）PLC 的 I/O 配置及实际接线图

PLC 的 I/O 配置如表 4-59 所示；其实际接线图如图 4-232 所示。

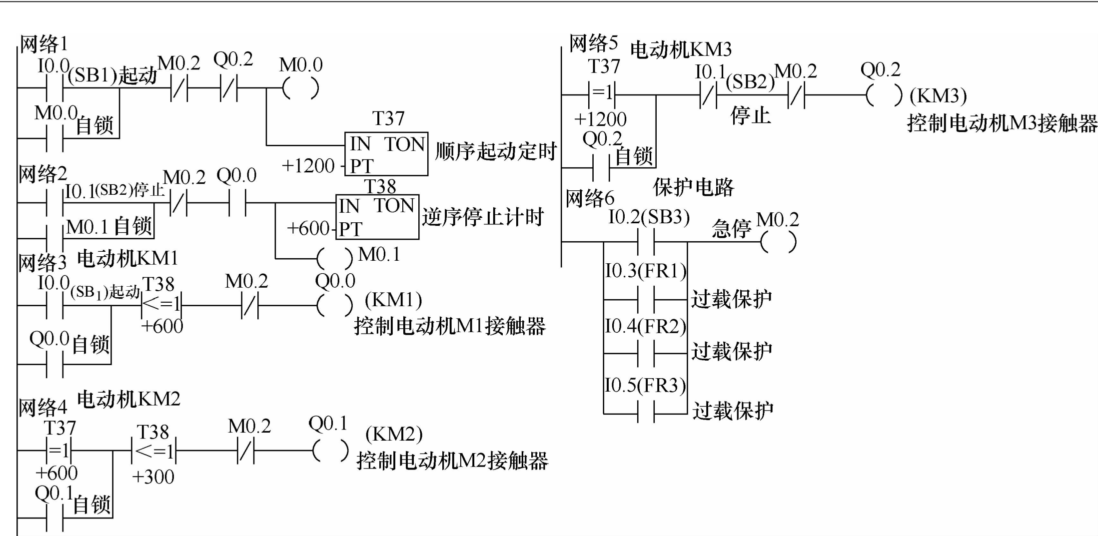


图 4-231　用比较指令实现电动机顺起/逆停控制的梯形图程序

表 4-59　PLC 的 I/O 配置

输入设备		PLC	输出设备		PLC
代号	功能	输入继电器	代号	功能	输出继电器
SB1	起动按钮	I0.0	KM1	接触器	Q0.0
SB2	停止按钮	I0.1	KM2	接触器	Q0.1
			KM3	接触器	Q0.2
			KM4	接触器	Q0.3

（3）顺序功能图和梯形图

4 台电动机 M1、M2、M3、M4 PLC 控制的顺序功能图如图 4-233 所示，其梯形图如图 4-234 所示。

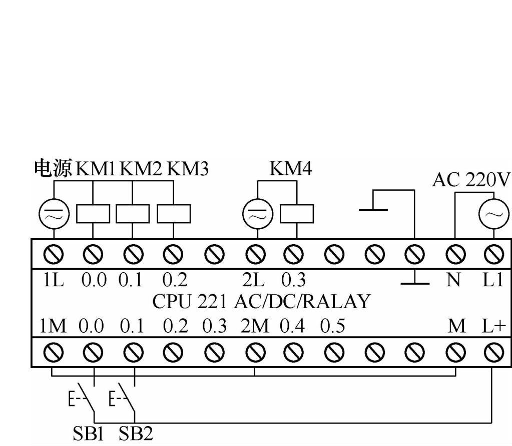


图 4-232　PLC 的实际接线图

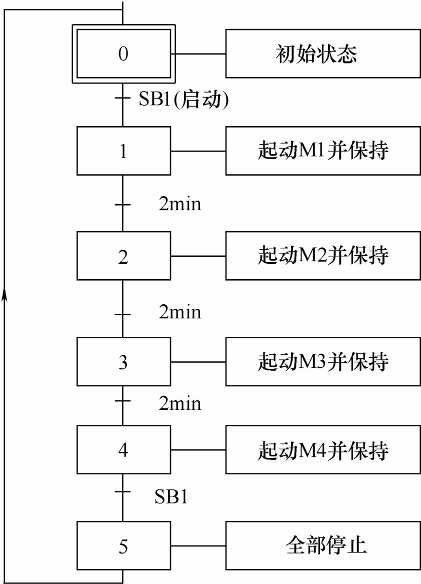


图 4-233　PLC 控制的顺序功能图

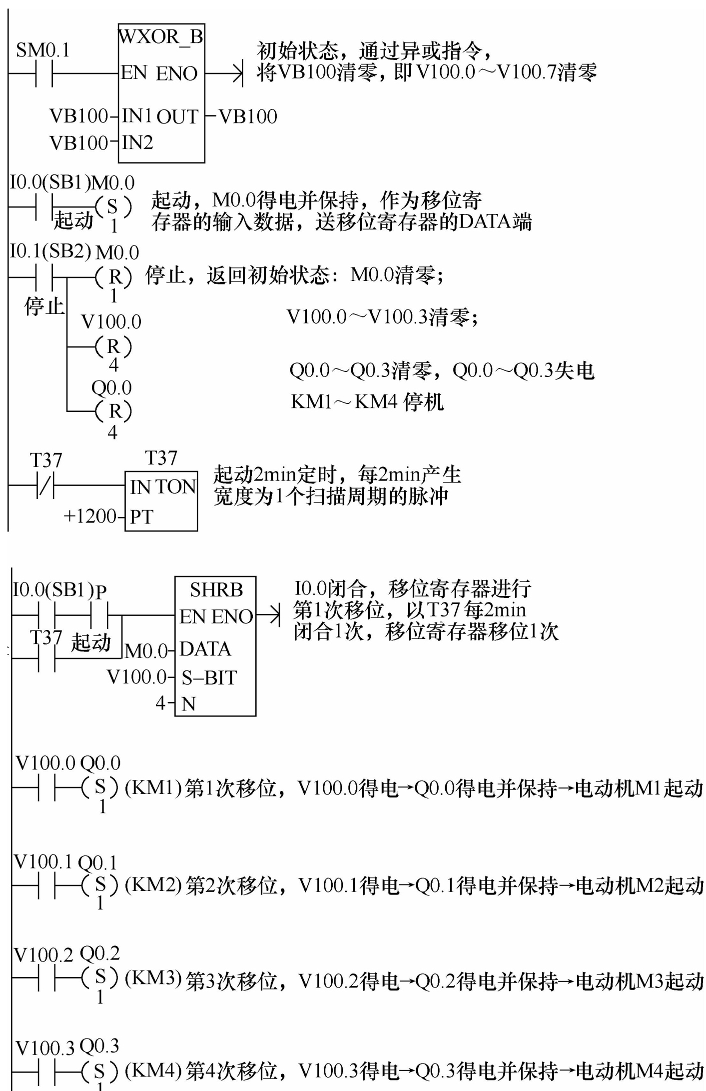


图 4-234　用移位寄存器指令实现 4 台电动机 $M_1 \sim M_4$ 顺序控制的梯形图程序

11. 时间控制

在 PLC 控制系统中，时间控制用得非常多，其中大部分用于延时和定时控制。如在 S7-200 系列 PLC 内部就有 3 种类型的定时器和 3 个等级分辨率（1ms、10ms 和 100ms）可以用于时间控制，用户在编程时会感到十分方便。

（1）瞬时接通/延时断开控制

瞬时接通/延时断开控制要求在输入信号有效时，马上有输出，而输入信号无效后，输出信号延时一段时间才停止，其梯形图和时序图如图 4-235 所示。在图 4-235a 中，当 I0. 0 = ON 时，输出 Q0. 0 = ON 并自锁；当 I0. 0 = OFF 时，定时器 T37 工作，定时 3s 后，定时器常闭触点断开，使输出 Q0. 0 断开。在图 4-235b 中，当 I0. 0 瞬间接通后断开，则 Q0. 0 = ON 且自锁；定时器 T37 工作 3s 后，定时器触点闭合，使输出 Q0. 0 断开。

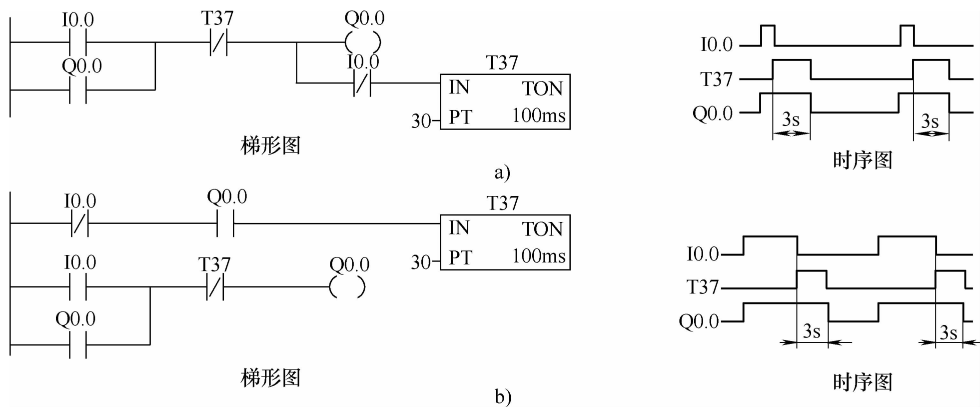


图 4-235　瞬时接通/延时断开控制的梯形图和时序图

a）方法 1　b）方法 2

在图 4-235 中，定时器工作因为 I0.0 变为 OFF 后，Q0.0 仍要保持得电状态 3s，所以 QO.0 的自锁触点是必需的。图 4-235a 和 4-235b 的工作原理相同，只是梯形图结构不同。瞬时接通/延时断开控制的梯形图用断开延时定时器可以使程序更简单，读者可以自行编制其梯形图程序。图 4-235 梯形图对应的语句分别如下：

图 4-235a 的语句：

```
LD     I0.0
O      Q0.0
AN     T37
=      Q0.0
AN     I0.0
TON    T37, 30
```

图 4-235b 的语句：

```
LDN    I0.0
A      Q0.0
TON    T37, 30
LD     I0.0
O      Q0.0
AN     T37
=      Q0.0
```

（2）延时接通/延时断开控制

延时接通/延时断开控制要求输入信号 ON 后，停一段时间后输出信号才 ON；输入信号 OFF 后，输出信号延时一段时间才 OFF。与瞬时接通/延时断开控制相比，该控制电路多加了一个输入延时。其梯形图、时序图和语句表程序，如图 4-236 所示。图中 T37 延时 2s 作为 Q0.0 的起动条件，T38 延时 5s 作为 Q0.0 的断开条件，两个定时器配合使用实现 Q0.O 的输出。

使用 T37 和 T38 两个定时器的配合，来实现控制电路的功能，可以通过调整 T37 和 T38 的设定时间，得到需要的延时时间。延时接通/延时断开控制的梯形图用接通延时定时器和断开延时定时器可以使程序更简单。读者可以自行编制其梯形图程序。

（3）多个定时器组合实现长延时控制

有些控制场合延时时间长，超出了定时器的定时范围，称为长延时。长延时电路可以以小时（h）、分钟（min）作为单位来设定。长延时控制可以使用多个定时器组合方式实现，也可以采用定时器和计数器组合方式实现，使用计数器组合也可以实现时钟控制。

多个定时器组合实现长延时的梯形图、时序图和语句表程序，如图 4-237 所示。图中

Q0.0 的接通是由定时器 T38 实现的；Q0.2 的接通就是由定时器 T38 与 T39 共同定时实现的。

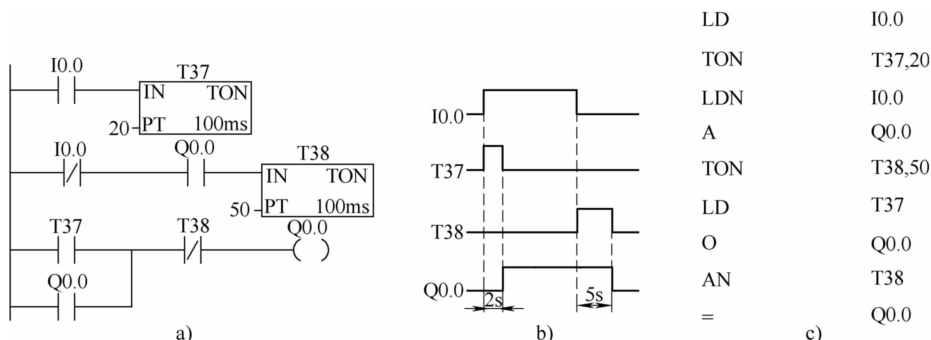


图 4-236 延时接通/延时断开控制的梯形图、时序图和语句表程序

a）梯形图 b）时序图 c）语句表

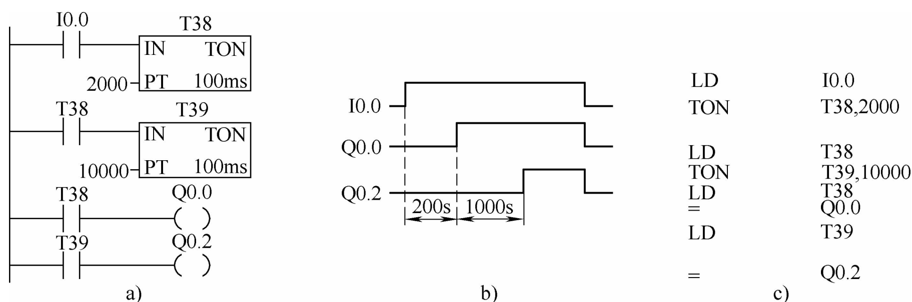


图 4-237 定时器串联实现长延时控制的梯形图、时序图和语句表程序

a）梯形图 b）时序图 c）语句表

在图 4-237 中，当输入 I0.0 端接通时，T38 开始计时，经过 200s 后，其常开触点 T38 闭合，Q0.0 接通；同时起动 T39 开始计时，经过 1000s 后，Q0.2 接通。由此可见，T38 和 T39 共同延时 200s + 1000s = 1200s 后 Q0.2 接通。

（4）定时器和计数器组合实现长延时控制

定时器和计数器组合实现长延时控制的梯形图和语句表如图 4-238 所示。图中，当输入 I0.0 端接通，T33 开始计时，经过 1s 后，其常开触点 T33 闭合，计数器 C0 开始递增计数；与此同时 T33 的常闭触点打开，T33 断电；常开触点 T33 打开，计数器 C0 仅计数一次。而后 T33 开始重新计时，如此循环，……；当 C0 计数器经过 1s × 20 = 20s 后，计数器 C0 有输出，其常开触点 C0 闭合，输出 Q0.0 接通。显然，输入 I0.0 端接通后，延时 20s 后输山 Q0.0 接通。

由 T33 定时器和 C0 计数器组合实现长延时：由 T33 的 1s 定时器起动 CO 计数器计数，反复循环进行，到 C0 计数 20 次后，由于 C0 常开触点闭合，输出 Q0.0 接通实现 20s 长延时控制。

（5）计数器串联组合实现时钟控制

高精度时钟控制的梯形图和语句表如图 4-239 所示。秒脉冲特殊存储器 SM0.5 作为秒发生器，用于计数器 C51 的计数脉冲信号，当计数器 C51 的计数累计值达到设定值 60 次时

（即为 1min 时）计数器位置“1”，即 C51 的常开触点闭合，该信号将作为计数器 C52 的计数脉冲信号；计数器 C51 的另一常开触点使计数器 C51 复位（称为自复位式）后，使计数器 C51 从 0 开始重新计数。相似地，计数器 C52 计数到 60 次时（即为 1h 时）其两个常开触点闭合，一个作为计数器 C53 的计数脉冲信号，另一个使计数器 C52 自复位，又重新开始计数；计数器 C53 计数到 24 次时（即为 1 天），其常开触点闭合，使计数器 C53 自复位，又重新开始计数，从而实现时钟功能。输入信号 I0.1、I0.2 用于建立期望的时钟设置，即调整分针、时针。

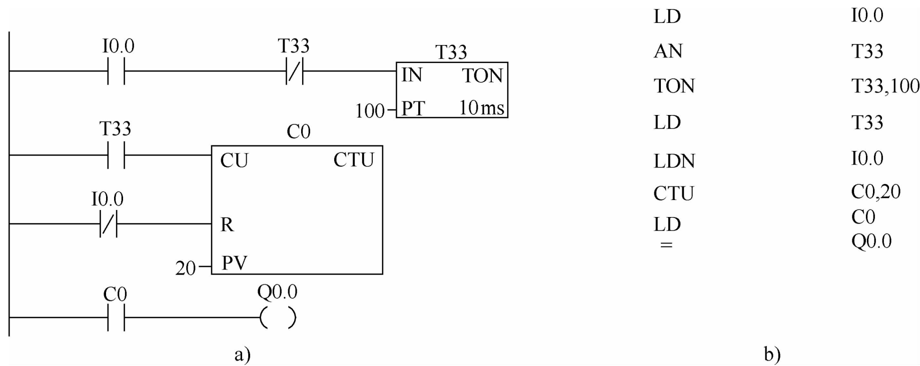


图 4-238　定时器和计数器组合实现长延时控制的梯形图和语句表程序

a）梯形图　b）语句表

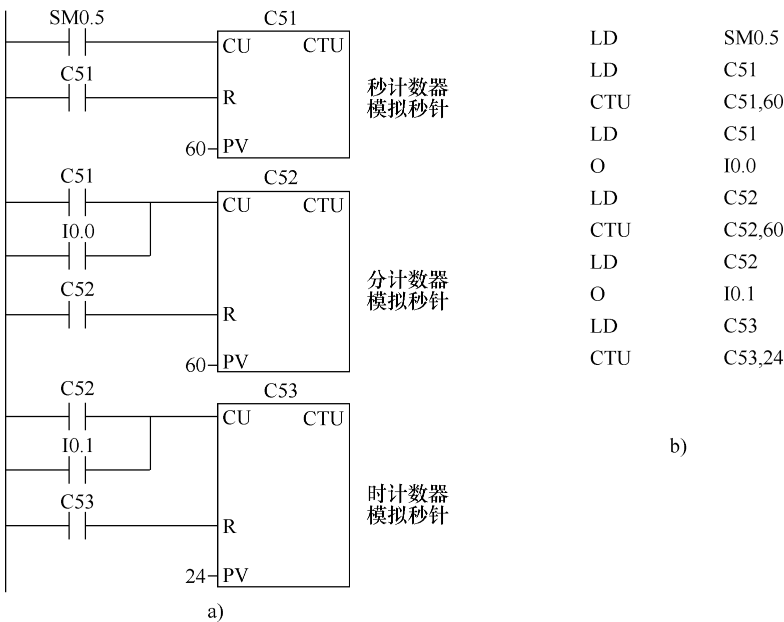


图 4-239　高精度时钟控制的梯形图和语句表

a）梯形图　b）语句表

计数器串联组合实现时钟控制，实现 24h（即 1 天）时钟控制，常称为高精度时钟控制，如果加入显示屏输出部分，就可以作为 PLC 电子时钟。

12. 脉冲触发控制

脉冲触发控制在 PLC 控制中属于常见控制环节，可用微分操作指令或定时器实现。

（1）用微分操作指令实现脉冲触发

用微分操作指令┤P├或┤N├实现脉冲触发控制的梯形图、时序图及其语句表如图 4-240 所示。在输入 I0.0 的控制下，输出 Q0.0 不断实现翻转（ON/OFF）。脉冲触发序列周期与输入信号 I0.0 的周期一致。

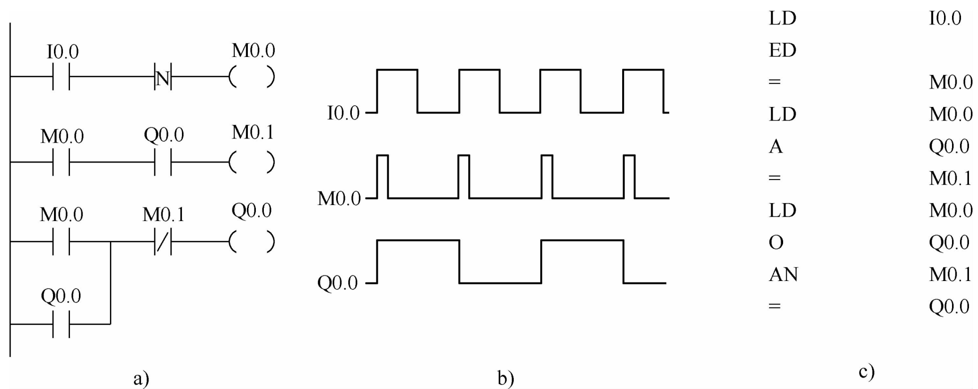


图 4-240 用微分操作指令实现脉冲触发的梯形图、时序图及其语句表

a）梯形图 b）时序图 c）语句表

用基本微分操作指令┤P├或┤N├实现触发脉冲控制，程序简单，运行效率高，占用机时少，是非常适用的控制形式。

（2）用定时器实现周期脉冲触发控制

利用定时器实现周期脉冲触发，且可根据需要灵活改变占空比。

用两个定时器产生脉冲触发的梯形图、时序图及其语句表如图 4-241 所示。当输入 I0.0 接通时，输出 Q0.0 为脉冲序列，接通和断开交替进行。接通时间为 1s，由定时器 T33 设定；断开时间为 2s，由定时器 T34 设定。

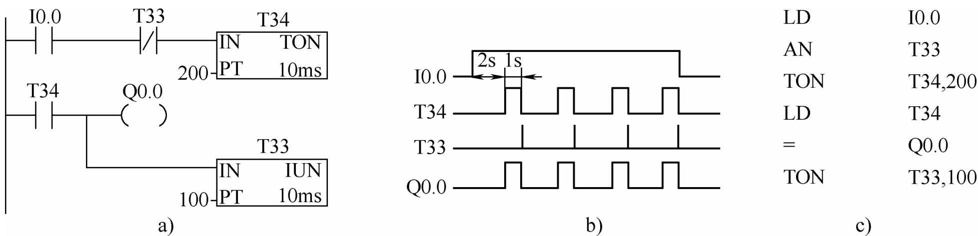


图 4-241 用两个定时器产生脉冲触发的梯形图、时序图及其语句表

a）梯形图 b）时序图 c）语句表

周期脉冲触发控制程序，也叫做闪烁控制程序（又称为振荡控制程序）。改变两个定时器 T33 和 T34 的时间常数，可以改变脉冲周期和占空比，是非常简捷适用的脉冲触发控制程序。

（3）用定时器实现脉宽可控的脉冲触发控制

在输入信号宽度不规范的情况下，如果需要脉冲宽度可控的触发脉冲，如何实现？这可以在周期脉冲触发控制程序的基础上，增加上升沿脉冲指令和 S/R 指令，结合定时器可以在输入信号宽度不规范的情况下，产生一个脉冲宽度固定的脉冲序列，该脉冲宽度通过改变定时器设定值 PT 进行调节。

使用定时器产生脉宽固定触发脉冲的梯形图、时序图及其语句表，如图 4-242 所示。该图中使用了上升沿脉冲指令和 S/R 指令，设定 Q0.0 的开启和关断条件，使其不论在 I0.0 的宽度大于或小于 2s，都可以使 Q0.0 的宽度为 2s。然后让定时器 T38 的计时输入逻辑在上升沿脉冲宽度小于设定脉冲宽度时，对输入脉冲宽度进行扩宽；在上升沿脉冲宽度大于设定脉冲宽度时，对输入脉冲宽度进行截取；在两个上升沿脉冲之间的距离小于设定脉冲宽度时，对后产生的上升沿脉冲无效。此 3 种情况见图 4-241b 时序图；T38 在计时到后产生一个复位信号 Q0.0，然后自复位。

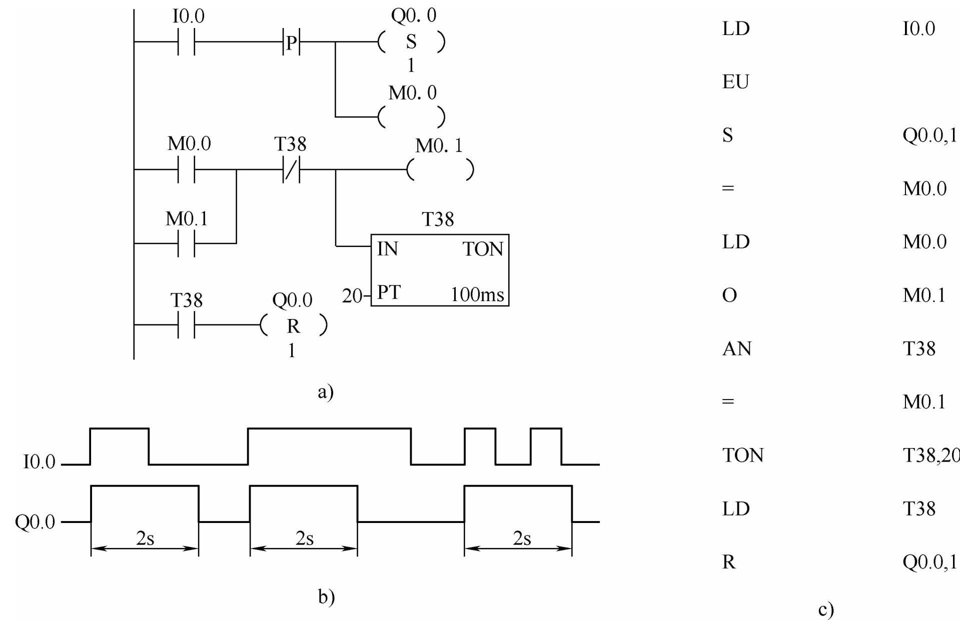


图 4-242　使用定时器产生脉宽固定触发脉冲的梯形图、时序图及其语句表
a）梯形图　b）时序图　c）语句表

应用了微分上升沿⊣P⊢指令，将 I0.0 的不规则输入信号，转化为瞬时触发信号，通过 S/R 指令将 Q0.0 置位或复位，Q0.0 置位时间长短由定时器 T38 设定值 PT 的大小决定、因此 Q0.0 的宽度不受 I0.0 接通时间长短的影响。

13. 分频控制

在许多控制场合，需要对控制信号进行分频，常见的有二分频、四分频控制等。二分频控制是将诸如输入信号脉冲 I0.1 分频输出，使输出脉冲 QO.0 为 I0.1 的二分频。

二分频电路的梯形图、时序图及其语句表如图 4-243 所示。当输入 I0.1 在 t_1 时刻接通（ON），此时内部标志位存储器 M0.0 上将产生单脉冲。然而输出映像寄存器 Q0.0 在此之前并未得电，其对应的常开触点处于断开状态。因此，扫描程序至第 2 行时，尽管 M0.0 得电，内部标志位存储器 M0.2 也不可能得电。扫描至第 3 行时，Q0.0 得电并自锁。此后这

部分程序虽多次扫描，但由于 M0.0 仅接通一个扫描周期，M0.2 不可能得电。Q0.0 对应的常开触点闭合，为 M0.2 的得电做好了准备。等到 t_2 时刻，输入 I0.1 再次接通（ON），M0.0 上再次产生单脉冲。因此，在扫描第 2 行时，内部标志位存储器 M0.2 条件满足得电，M0.2 对应的常闭触点断开。执行第 3 行程序时，输出映像寄存器 Q0.0 断电，输出信号消失。以后，虽然 I0.1 继续存在，但由于 M0.0 是单脉冲信号，虽多次扫描第 3 行，输出映像寄存器 Q0.0 也不可能得电。在 t_3 时刻，输入 I0.1 第三次出现（ON），M0.0 上又产生单脉冲，输出 Q0.0 再次接通。t_4 时刻，输出 Q0.0 再次断电，得到输出正好是输入信号的二分频。这种逻辑每当有控制信号时，就将状态翻转（ON→OFF→ON→OFF），因此也可用做脉冲发生器。

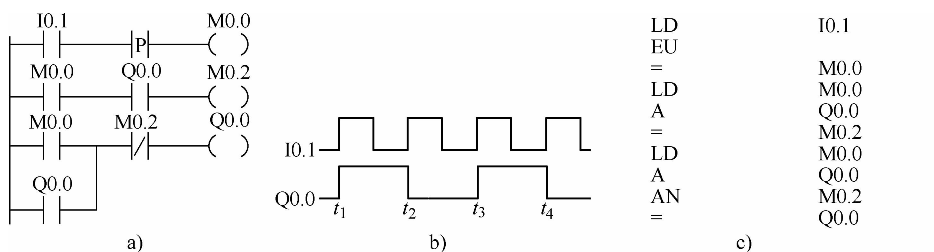


图 4-243　二分频电路的梯形图、时序图及其语句表

a）梯形图　b）时序图　c）语句表

用微分上升沿┤P├指令和两个内部标志位存储器 M0.0 与 M0.2 将规则频率的 I0.1 输入信号，转化为脉宽为 I0.1 两倍的 Q0.0 信号输出。

14. 报警控制

故障报警控制是电气自动控制系统中不可缺少的重要环节，也是 PLC 控制系统中的常用环节。标准的报警功能应该是声光报警；报警控制方式有单故障报警控制与多故障报警控制。

（1）单故障报警控制

单故障报警控制为用蜂鸣器和报警灯对一个故障实现的声光报警控制。单故障报警控制的梯形图、时序图及其语句表，如图 4-244 所示。输入端子 I0.0 为故障报警输入条件，即 I0.0 = ON 要求报警。输出 Q0.0 为报警灯，Q0.1 为报警蜂鸣器。输入条件 I0.1 为报警响应。I0.1 接通后，Q0.0 报警灯从闪烁变为常亮，同时 Q0.1 报警蜂鸣器关闭。输入条件 I0.2 为报警灯的测试信号。I0.2 接通，则 Q0.0 接通。

用定时器 T37 和定时器 T40 构成振荡控制程序，当故障报警条件 I0.0 接通后，每 0.5sQ0.0 和 Q0.1 通断声光报警一次，反复循环，直到报警结束。

（2）多故障报警控制

在实际的工程应用中，出现的故障可能不只一个，而是多个，这时的报警控制程序与单个故障的报警程序不一样。在声光多故障报警控制中，一种故障要对应于一个指示灯，而蜂鸣器只要共用一个就可以了，因此，程序设计时要将多个故障共用一个蜂鸣器鸣响。

两种故障标准报警控制的梯形图及其语句表如图 4-245 所示。图中故障 1 用输入信号 I0.0 表示；故障 2 用 I0.1 表示；I1.0 为消除蜂鸣器按钮；I1.1 为试灯、试蜂鸣器按钮。故

障 1 指示灯用信号 Q0. 0 输出；故障 2 指示灯 JH 信号 Q0. 1 输出；Q0. 3 为报警蜂鸣器输出信号。

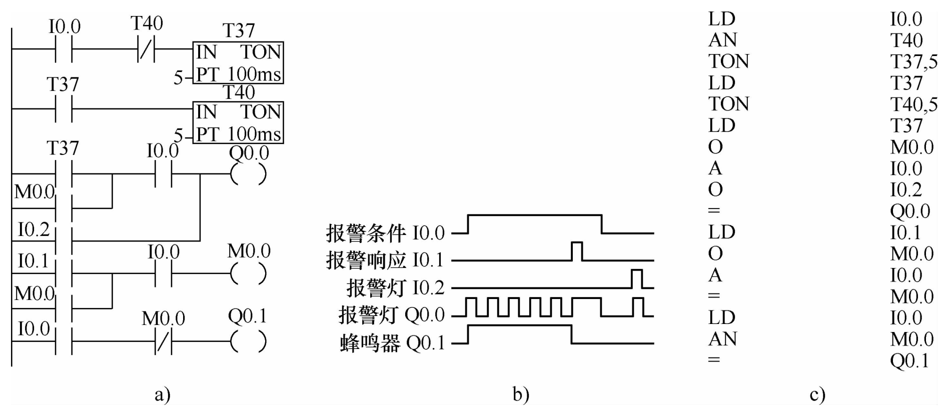


图 4-244　单故障报警控制的梯形图、时序图及其语句表

a）梯形图　b）时序图　c）语句表

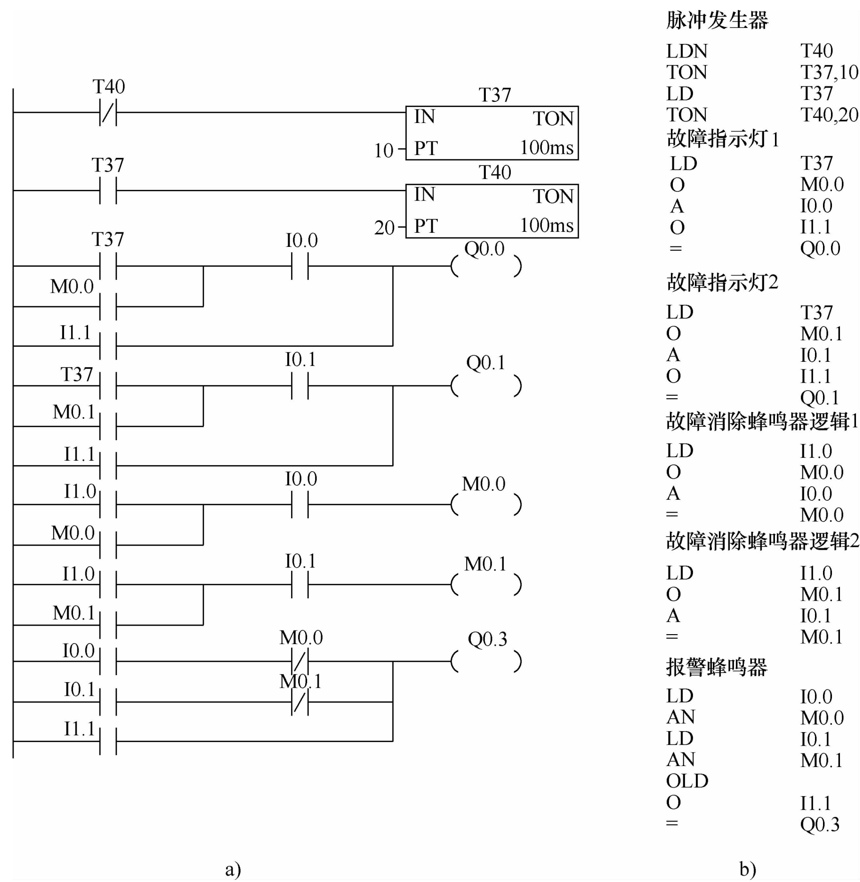


图 4-245　两种故障标准报警控制的梯形图及其语句表

a）梯形图　b）语句表

在两种故障标准报警控制梯形图程序设计中，关键是当任何一种故障发生时，按消除蜂鸣器按钮后，不能影响其他故障发生时报警蜂鸣器的正常鸣响。该程序由脉冲触发控制、故障指示灯、蜂鸣器逻辑控制和报警控制电路四部分组成，采用模块化设计，值得读者在实际使用时参考。照此方法可以设计实现更多的故障报警控制。

15. 计数控制

（1）扫描计数控制

在某些应用场合下需要计算扫描次数，一般可采用扫描计数控制程序来实现。

扫描计数控制的梯形图、时序图及其语句表如图 4-246 所示。输入 I0.0 接通后，内部标志位存储器 M0.0 每隔一个扫描周期接通一次，扫描周期用 T 表示。计数器 C100 对扫描次数进行计数，达到设定值时计数器 C100 有输出，其常开触点 C100 接通，输出映像寄存器 Q0.0 起动。

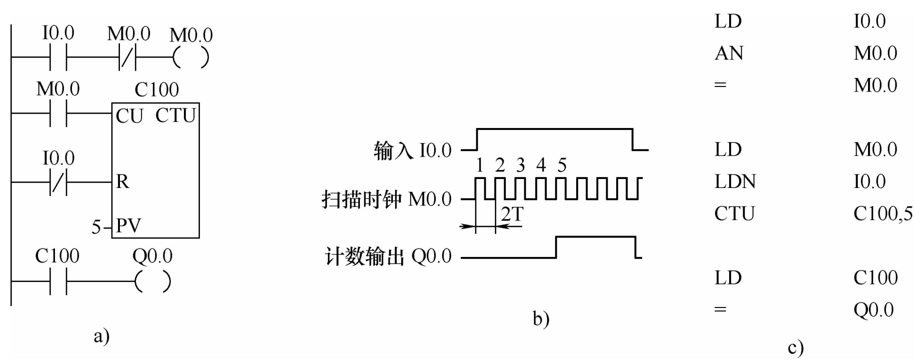


图 4-246　扫描计数控制的梯形图、时序图及其语句表

a）梯形图　b）时序图　c）语句表

使用内部标志位存储器 M0.0 和计数器 C100 计数 PLC 内部扫描次数，程序简单适用，能很好地满足工程应用的需要。

（2）6 位数计数控制

S7-200 系列 PLC 计数器的计数值范围为 −32767 ~ 32767，计数位数不超过 5 位数，如果要进行 6 位数计数，需要将计数器串联构成 6 位加法计数器。

某 6 位数计数控制的梯形图及其语句表如图 4-247 所示，其构成的 6 位数是 456123。计数器输入脉冲 I0.1，复位输入脉冲 I0.0，当计数脉冲 I0.1 满 123 次后，C50 计数器的常开触点 C50 接通，C48 计数器在脉冲 I0.1 到来时计数，当 C48 计数器计满 1000 次后，C51 计数器计数一次，而后 C48 再计满 1000 次后，C51 计数一次，直到 C51 计数满 456 次，即共计数满 456 ×（999 + 1）+ 123 = 456123 次后，输出 Q0.0 接通。

将 C48 和 C51 计数器串联得到的计数次数，再与 C50 计数次数相加得结果。C48 计数器计满 1000 次后，由其常开触点 C48 与 M0.0 共同复位，构成循环计数，叫做循环计数器。

16. 顺序控制

顺序控制在工业控制系统中应用十分广泛。传统的“继电器-接触器控制”只能进行一

些简单控制，且整个系统十分笨重庞杂，接线复杂，故障率高；对于有些复杂的控制甚至根本实现不了。使用 PLC 便顺序控制变得轻松简便，可以用各种不同指令，编写出形式多样、简洁清晰的控制程序。即使一些非常复杂的控制也变得十分简单。

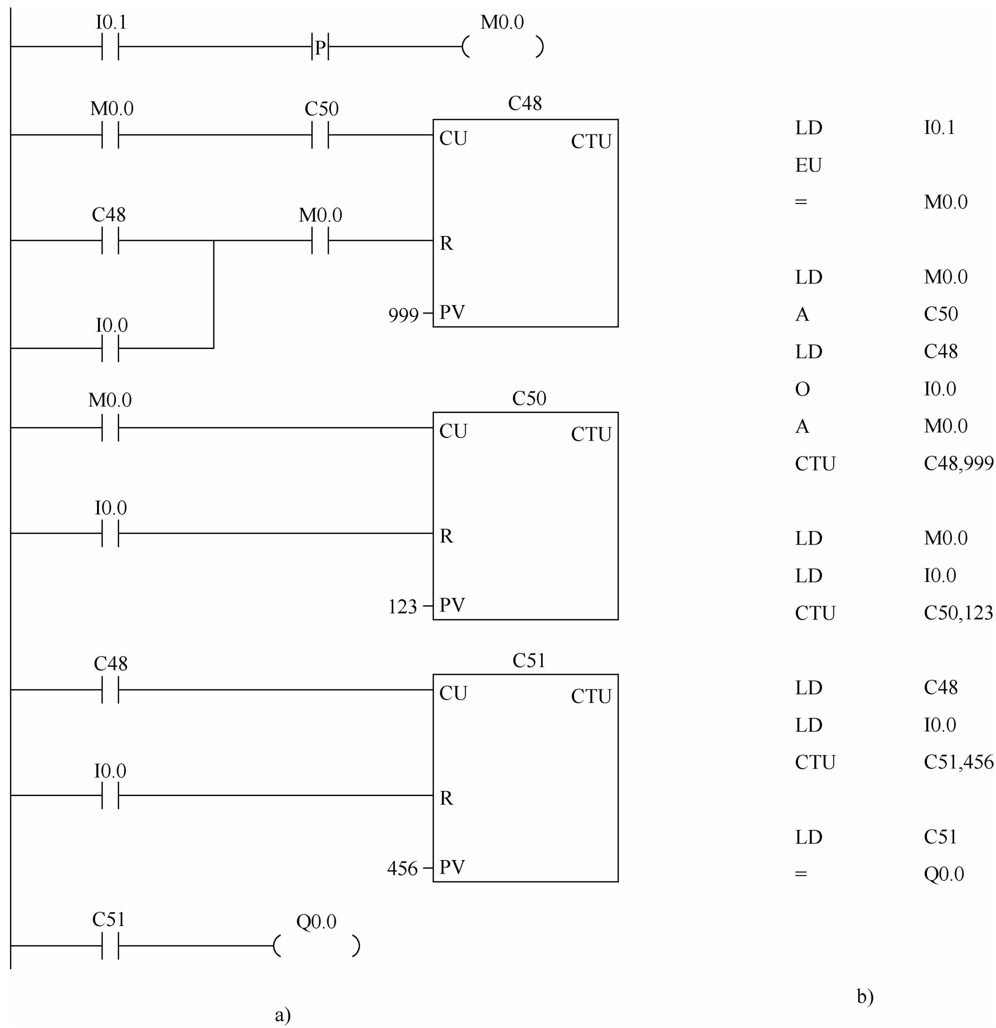


图 4-247　某 6 位数计数控制的梯形图及其语句表

a）梯形图　b）语句表

（1）用定时器实现时间顺序控制

用定时器可对被控对象实现时间顺序起停控制，用定时器编写的实现时间顺序控制的梯形图和语句表，如图 4-248 所示。当 I0.0 总起动开关闭合后，Q0.0 先接通；经过 5s 后 Q0.1 接通，同时将 Q0.0 断开；再经过 5s 后 Q0.2 接通，同时将 Q0.1 断开；又经过 5s 后 Q0.3 接通，同时将 Q0.2 断开；再经过 5s 又将 Q0.0 接通，同时将 Q0.3 断开；……。如此循环往复，实现了时间顺序起动/停止的控制。

用定时器实现时间顺序控制的实质就是运用定时器的定时与延时功能，在不同时间点上实现被控对象的起停。

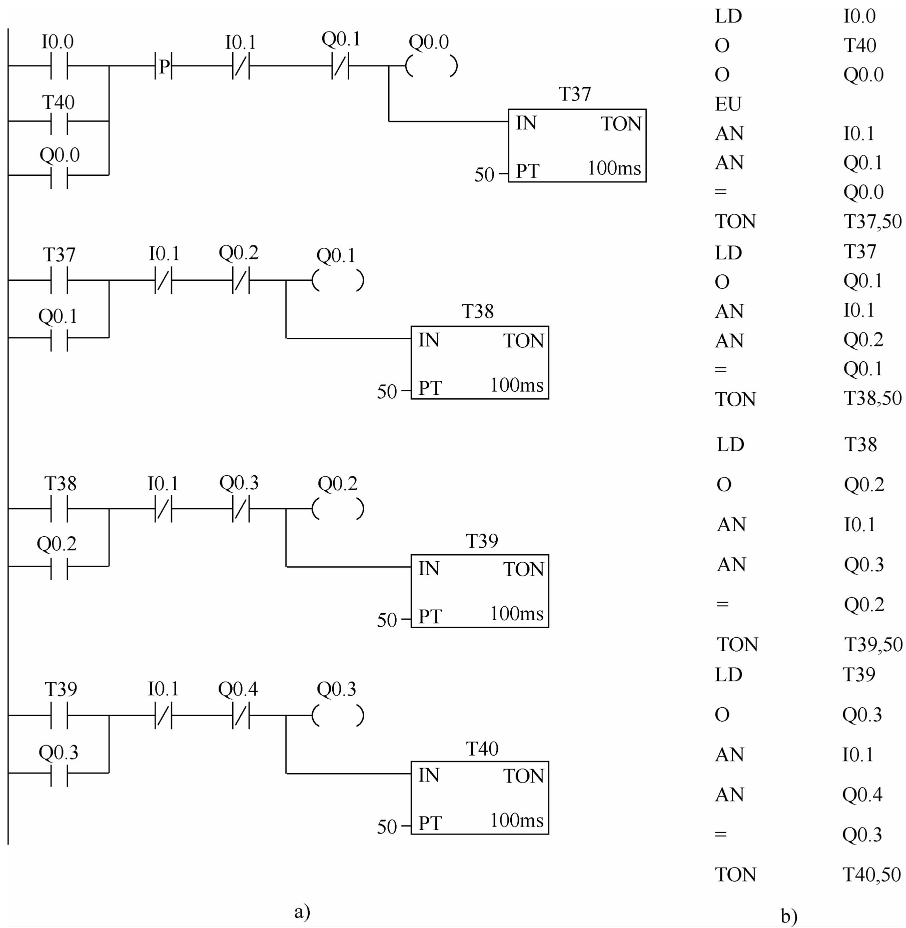


图 4-248　用定时器编写的实现时间顺序控制的梯形图和语句表

a）梯形图　b）语句表

（2）用计数器实现顺序控制

用计数器减 1 计数的原理，可对被控对象实现顺序起停控制。用计数器实现顺序控制的梯形图和语句表，如图 4-249 所示。当 I0. 0 第一次闭合时 Q0. 0 接通；第二次闭合时 Q0. 1 接通；第三次闭合时 Q0. 2 接通；第四次闭合时 Q0. 3 接通，同时将计数器复位；又开始了下一轮计数，如此往复，实现了顺序控制。这里 I0. 0 既可以是手动开关，也可以是内部定时时钟脉冲，后者可实现自动循环控制。程序中还使用了比较指令，只有当计数值等于比较常数时相应的输出才接通。所以每一个输出只接通一拍，且当下一输出接通时上一输出即断开。

利用减 1 计数器 C40 进行计数，由控制触点 I0. 0 闭合的次数，驱动计数器计数，结合比较指令，将计数器的计数过程中间值与给定值比较，确定被控对象在不同计数点上的起停，从而实现控制各输出接通的顺序。

（3）用移位指令实现顺序控制

用移位指令将移位数据存储单元中的数据位移动，当某数据位为“1”时，利用该位起动其后的输出，对被控对象实现顺序起停控制。

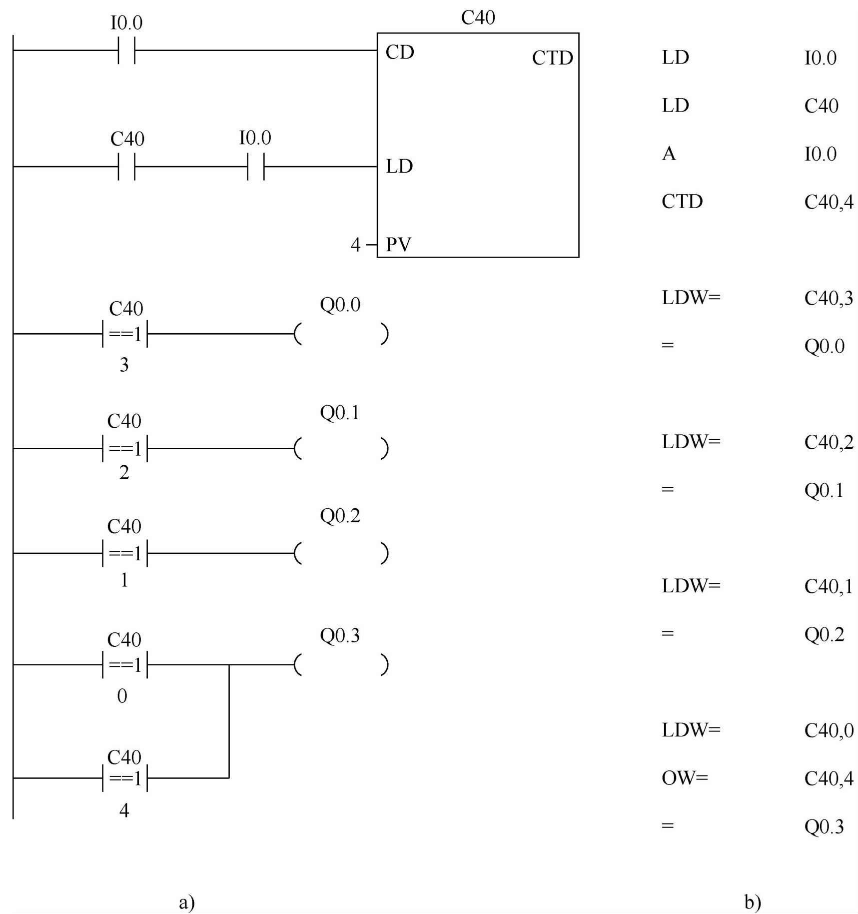


图4-249　用计数器实现顺序控制的梯形图和语句表
a）梯形图　b）语句表

用左移移位指令编写的顺序控制梯形图和语句表如图4-250所示。利用一个开关触点I0.1实现对输出映像寄存器Q0.0、Q0.1、Q0.2和Q0.3的顺序控制。I0.1为移位脉冲控制触点，I0.1每闭合一次VB1左移一位。当VB1前4位初始值为0时，VB1的第零位置为1，即V1.0为1，此时输出Q0.0被接通；当I0.1第1次闭合时VB1左移一位1，于是VB1中V1.1接通，使输出Q0.1被接通，同时V1.0断开。此后I0.1每闭合一次，VB1置位的1左移一位，使VB1的一位接通，从而接通一个输出端子。如此实现了将各输出顺序接通与断开。当I0.1第3次闭合时，Q0.3被接通；当I0.1第4次闭合时，将V1.0各位复位，于是又开始了新一轮循环。

用左移位指令将移位数据存储单元中的数据位左移，利用左移的位起动其后的输出，确定被控对象在不同移位点上的起停。

（4）用顺序控制功能指令实现顺序控制

运料小车的行程控制示意图，如图4-251所示，控制要求如下：

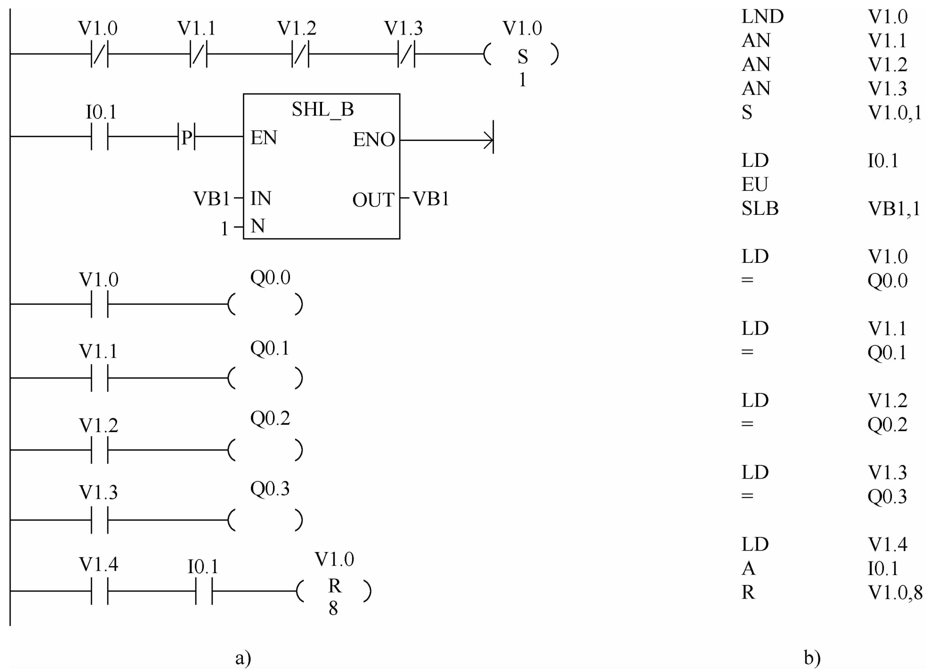


图 4-250 用左移移位指令编写的顺序控制梯形图和语句表

a）梯形图 b）语句表

①初始位置，小车在左端，左限位行程开关 SQ1 被压下。

②按下起动按钮 SB1，小车开始装料。

③8s 后装料结束，小车自动开始右行，碰到右限位行程开关 SQ2 后，停止右行，开始卸料。

④5s 后卸料结束，小车自动左行，碰到左限位行程开关 SQ1 后，停止左行，开始装料。

⑤延时 8s 后，装料结束，小车自动右行，……，如此循环；直到按下停止按钮 SB2，在当前循环完成后，小车结束工作。

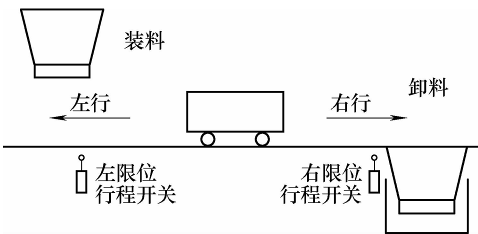


图 4-251 小车的行程控制示意

编程元件地址分配见表 4-60。

表 4-60 编程元件地址分配

编程元件	说明	编程元件	说明
I0.0	起动按钮	I0.1	停止按钮
I0.2	右限位行程开关	I0.3	左限位行程开关
Q0.0	装料接触器	Q0.1	右行接触器
Q0.2	卸料接触器	Q0.3	左行接触器
T37	左端装料延时定时器	T38	右端卸料延时定时器
M0.0	记忆停止信号	S0.0	初始步
S0.1	装料	S0.2	右行
S0.3	卸料	S0.4	左行

运料小车的状态流程图和梯形图，如图 4-252 所示。当按下起动按钮，I0.0 接通，活动步从 S0.0 变为 S0.1，接通装料接触器 Q0.0，小车开始装料，同时装料延时定时器 T37 开始计时；当 T37 计时到，T37 的动合触点闭合，活动步从 S0.1 变为 S0.2，接通右行接触器 Q0.1，小车开始右行；碰到右限位行程开关 I0.2，活动步从 S0.2 转换为 S0.3，接通卸料接触器 Q0.2，小车开始卸料，同时起动卸料延时定时器 T38 开始计时；当 T38 计时时间到，活动步从 S0.3 转换为 S0.4，接通左行接触器 Q0.3，小车开始左行；碰到左限位行程开关 I0.3，活动步从 S0.1 转换为 S0.1，重新开始装料；……；如此循环。若要停止装、卸料，则按下 I0.1，小车停止工作。

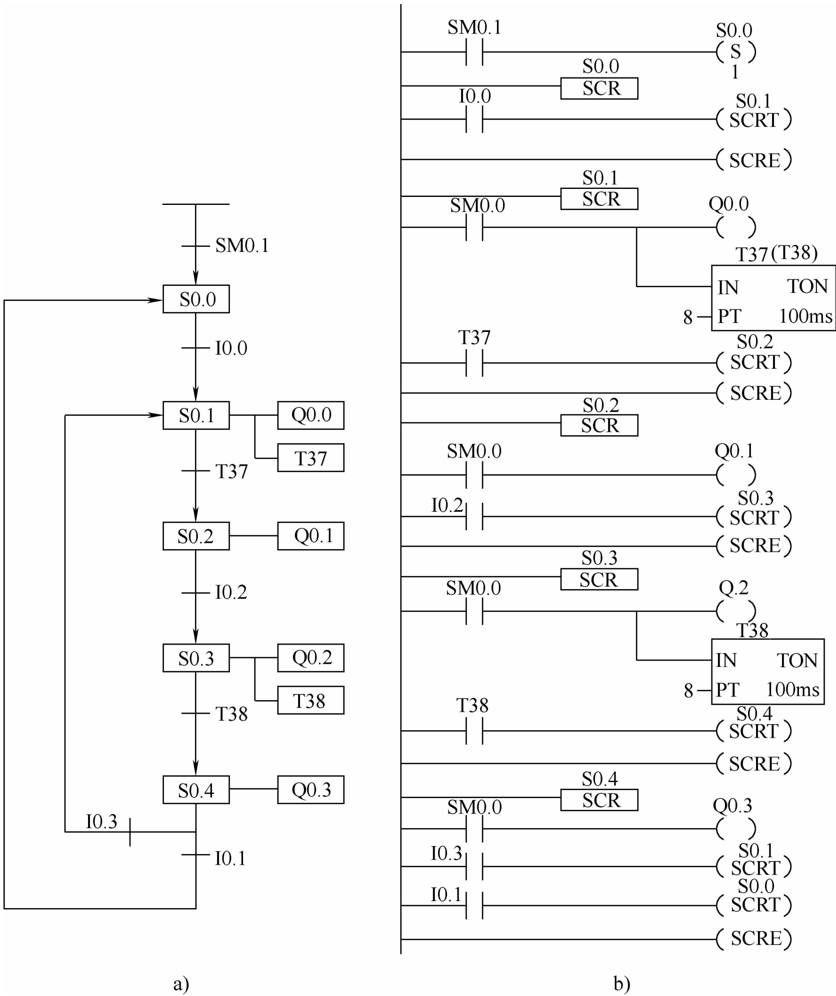


图 4-252　运料小车的状态流程图和梯形图

a）状态流程图　b）梯形图

17. 循环控制

循环控制也是 PLC 控制的常见环节，如循环计数控制、周期连续进行的顺序控制等均属循环控制范畴，属于基本控制环节，诸如彩灯闪亮循环控制。

用 PLC 实现彩灯闪亮控制，具有结构简单、变换形式多样、价格低的特点，应用广泛。

彩灯控制变换形式主要有三种，长通类、变换类和流水类。长通类是指彩灯照明或衬托底色作用，一旦彩灯接通，将长时间亮，没有闪烁；变换类是指彩灯的定时控制作用，彩灯时亮时灭，形成需要各种变换，如字形变换、色彩变换、位置变换等，其特点是定时通断，频率不高；流水类是指彩灯变换速度快，犹如行云流水、星光闪烁，其特点虽也是定时通断，但频率较高。对长通类亮灯，控制简单，只需一次接通或断开，属一般控制；对变换类和流水类闪亮，则要按预定节拍产生一个“环形分配器”，这个环形分配器控制彩灯按预设频率和花样变换闪亮。

彩灯闪亮循环控制的梯形图和语句表，如图 4-253 所示。该环节控制 A、B、C、D 共 4 盏彩灯，工作时，按下起动按钮（即 I0.0 接通）4 盏灯间隔 2s 依次点亮，然后 4 盏灯以同样的频率同时闪烁 1 次，如此循环往复。按下停止按钮（即 I0.1 断开）后，4 盏灯全部熄灭。

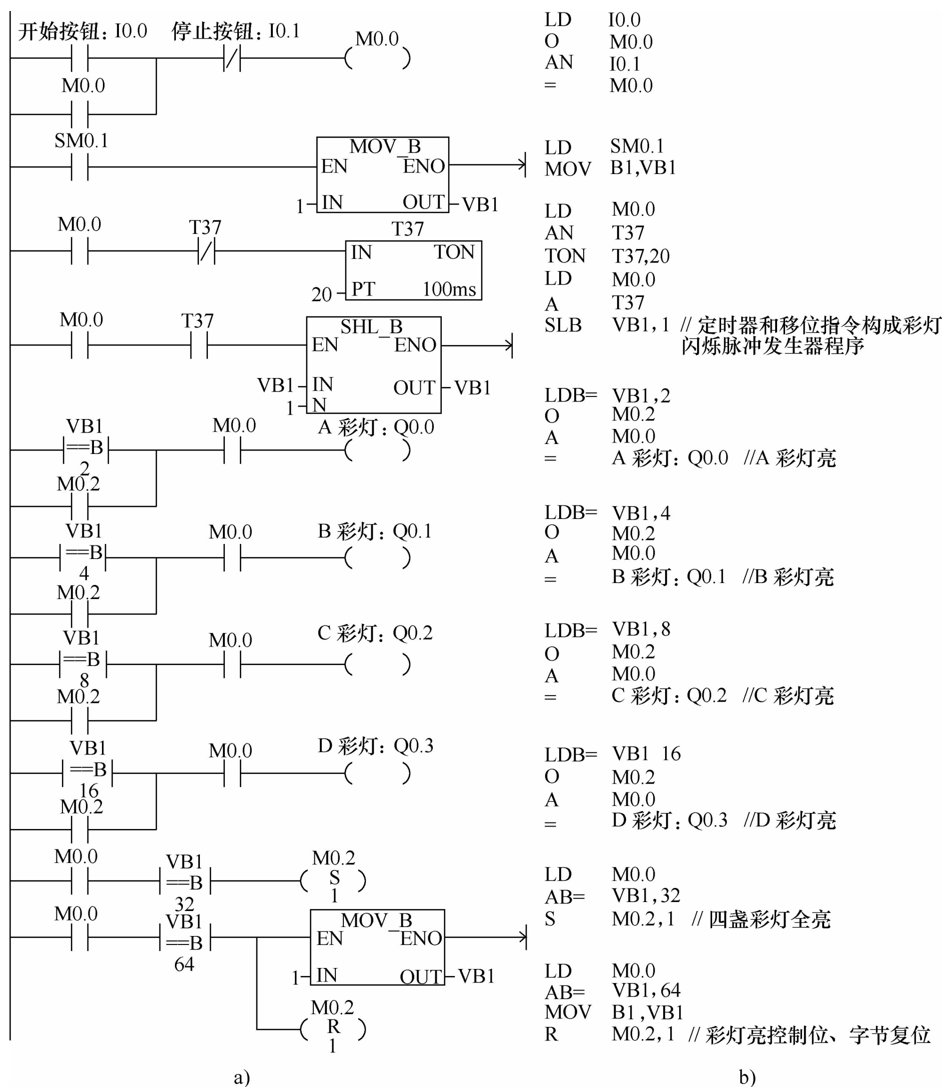


图 4-253　彩灯闪亮循环控制的梯形图和语句表

a）梯形图　b）语句表

该环节用定时器、比较指令和左移位指令构成彩灯循环闪亮的环形分配器，控制彩灯循环闪亮，属变换类和流水类彩灯闪亮控制。

18. PLC 的初始化控制

在工业控制中，许多设备需要初始化后才能进入正常的控制阶段。这些初始化仅仅只在 PLC 通电一开始的阶段运行，当 PLC 正常运行后，不再执行这些初始化程序，使用顺序控制继电器指令很容易实现这样的控制。其梯形图和语句表程序，如图 4-254 所示。

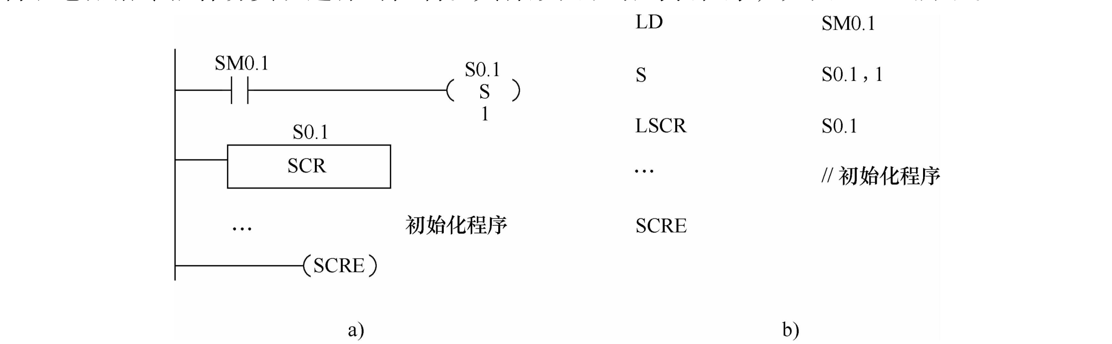


图 4-254　设备初始化控制的梯形图和语句表
a）梯形图　b）语句表

特殊继电器 SM0.1 仅仅在 PLC 上电开始产生一个扫描周期的接通，因此 S0.1 所控制的顺序程序段仅仅在 PLC 上电的第一个扫描周期内运行，也就是实现了设备的初始化控制。

19. PLC 故障控制

在 PLC 运行过程中会出现许多料想不到的故障，为了避免故障发生所带来严重的后果，需要采用一定的手段保证 PLC 正常运行或者使其停止运行。在这些情况下往往会用到有条件结束指令、停止指令以及看门狗复位指令。

PLC 故障控制的梯形图和语句表，如图 4-255 所示。

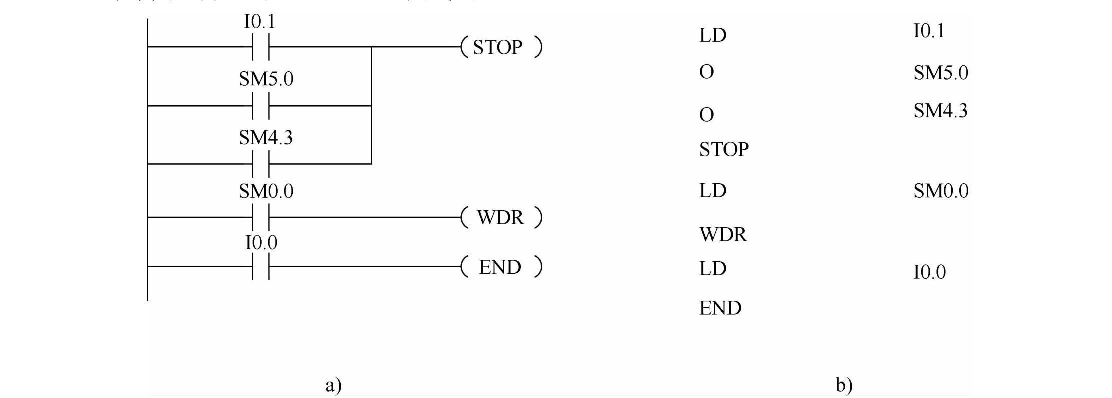


图 4-255　PLC 故障控制的梯形图和语句表
a）梯形图　b）语句表

在这个过程中，PLC 在以下 3 种情况下会执行 STOP 停止指令，从而停止 PLC 的运行，以防止事故的发生。

1）在 PLC 运行过程中如果现场出现了特殊情况，按下与 I0.1 相连接的按钮，使得 I0.1 位为 1。

2）PLC 系统出现 I/O 错误。

3）PLC 监测到系统程序出现了问题。

当循环程序很多或者中断很多时，虽然 PLC 是正常运行的，但会大大延长 PLC 的扫描周期而造成看门狗故障。为了使 PLC 顺利运行，可以在适当的位置执行看门狗复位指令，重新触发看门狗，使其复位。

在 PLC 运行过程中，若不希望运行某一部分程序，则可在这段不希望运行的程序前面加上图 4-255 所示的最后一条指令，这样只要接通与 I0.0 相连的按钮，就会执行 END 指令，PLC 就会返回主程序起点，重新执行。

20. PLC 的复电输出禁止控制

在实际控制工程中，可能遇到突发停电情况。在复电时，控制环境可能仍处于原先得电的工作状态，从而会使相应的设备立即恢复工作，这极易引发设备动作逻辑错乱，甚至发生严重事故。为了避免这种情况的发生，在 PLC 控制程序中需要对一些关键设备的控制端口（PLC 输出端口）做复电输出禁止控制。

复电输出禁止程序运用了西门子 PLC 的特殊标志位存储器 SM0.3，SM0.3 为加电接通一个扫描周期，使 M1.0 置位为“1”，Q1.0 和 Q1.1 无论在 I2.0、I2.1 处于什么状态，均无输出，该程序如图 4-256 所示。

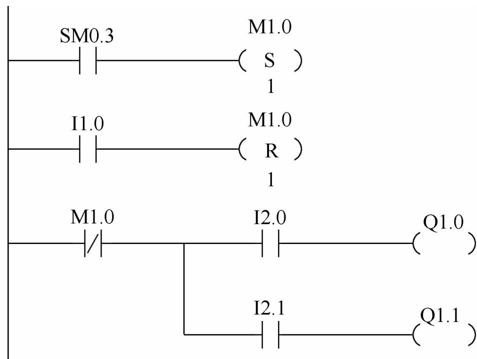


图 4-256　复电输出禁止程序

由“继电器-接触器控制”电路的工作原理可知，“继电器-接触器控制”电路图中各行元件是并列执行的，而复电输出禁止程序反映了 PLC 程序（用户程序）执行时不是并列执行的，而是按先后顺序执行的。这完全是由 PLC 的扫描工作原理所决定的，这对于正确编制 PLC 控制程序是至关重要的。

在 PLC 复电进入 RUN 状态后，PLC 在自检及通信处理后，进行输入采样，而后按用户梯形图程序指令的要求，对于输出线圈按照从上到下的顺序执行，对于同一线圈按照由左向右的顺序依次执行，动作不可逆转（使用跳转指令的情况除外），最后输出刷新，之后循环往复执行，直至停止。对用户程序执行过程的理解是设计 PLC 用户程序的关键。

PLC 复电输出禁止程序循环扫描执行过程，如图 4-257 所示。PLC 加电进入 RUN 状态后，SM0.3 接通一个扫描周期，使 M1.0 置位为“1”，M1.0 的常闭触点断开，从而切断了输出线圈 Q1.0、QI.1 的控制逻辑，达到了输出被禁止的目的。当 Q1.0、Q1.1 所控制的设备准备好之后，譬如进入第 2 个循环时，可以转换 I1.0 的状态，使其为“1”，则 M1.0 被复位为“0”，对输出 Q1.0、Q1.1 的控制解除，并将控制权转移给 I2.0、I2.1，此时若 I2.0、I2.1 为“1”，Q1.0、Q1.1 置位为“1”。这样就避免了 PLC 复电后倘若 I2.0、I2.1 均处于 ON 状态导致 Q1.0、Q1.1 直接输出。复电输出禁止程序在工程实际中经常能用到，本程序可以根据工程具体情况，稍加改造就可应用。

21．PLC 系统的多工况选择控制

在许多工业控制场合，不仅仅需要有自动控制的功能，还需要有手动控制的功能。若选择开关（或按钮）处于自动挡的时候，PLC 自动执行自动控制程序而不执行手动程序；若选择开关（或按钮）处于手动挡的时候，PLC 自动执行手动控制段序而不执行自动控制程序。以此类推，还可以有更多的工况功能选择，如返回原位、单步操作、单循环操作、自动多循环操作等。这种多工况选择功能可以用顺序控制来实现。用顺序控制实现自动/手动切换的程序梯形图和其所对应的语句表如图 4-258 所示。

第 1 个 PLC 循环 I1.0=0	第 2 个 PLC 循环 I1.0=1
SM0.3=1，M1.0=1	SM0.3=0，M1.0=1
I1.0=0，M1.0=1	I1.0=1，M1.0=0
I2.0=1，Q1.0=0	I2.0=1，Q1.0=1
I2.1=1，Q1.1=0	I2.1=1，Q1.1=1

图 4-257　PLC 复电输出禁止程序循环扫描执行过程

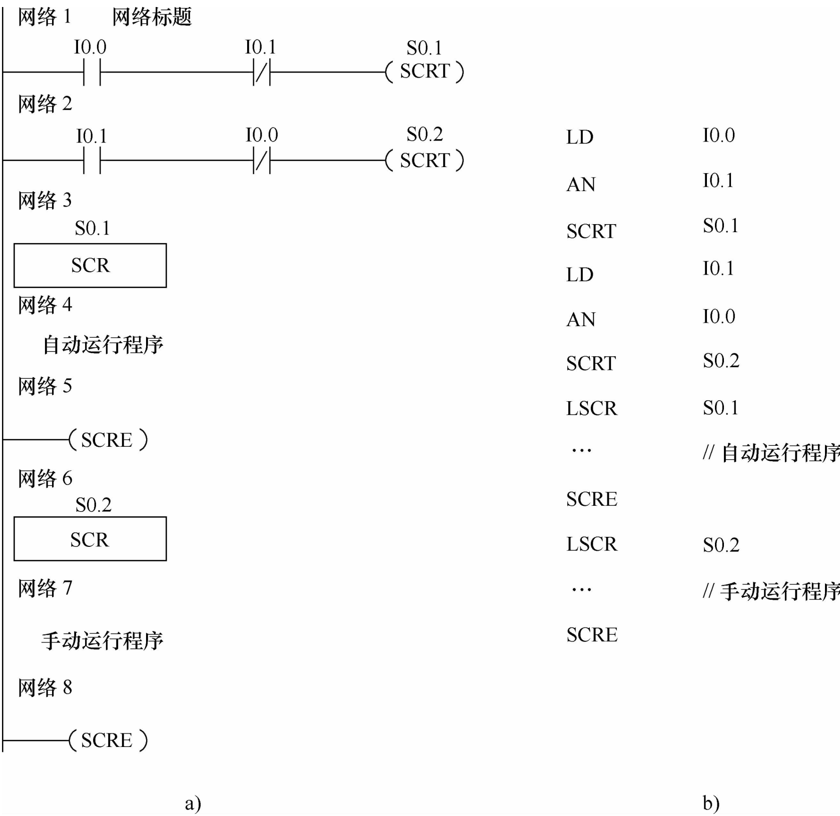


图 4-258　多工况选择控制的梯形图和语句表

a）梯形图　b）语句表

22. 控制系统设计及编程常用图

采用 PLC 构建电气控制系统的核心工作是编制 PLC 的用户设备控制程序，因此程序编制过程实际上也是设备控制系统的设计过程。程序编制与设计过程一般包含 4 个主要步骤，其关系如图 4-259 所示，每一步工作生成相应的工作图。掌握这些编程常用图，对控制系统设计将会事半功倍。

（1）设备工作要求分析

电气控制系统的设计目标是能够控制设备完成给定的工作过程，因此在电气系统设计过程中，首先需要对被控设备进行分析，了解它的组成结构、驱动方式、循环工作过程与要求，分析触发设备工作状态转换的信号电器和驱动设备运动的执行电器种类，确定它们的数目，最终确定 PLC 输入和输出端口的对应关系，并用端子图或端子分配表的形式给予说明。

如图 4-260 所示为一进行自动循环工作的组合机床设备简图。机床有两个动力部件，机械动力滑台Ⅰ和机械动力滑台Ⅱ，分别由电动机 M1、M2 通过传动装置驱动，行程开关 SQl、SQ2 是滑台Ⅰ的原位开关和终点限位开关；SQ3、SQ4 是滑台Ⅱ的原位开关和终点限位开关。

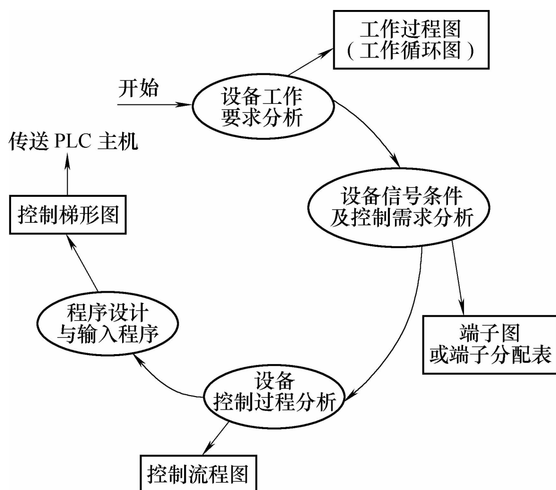


图 4-259 控制程序设计过程示意图

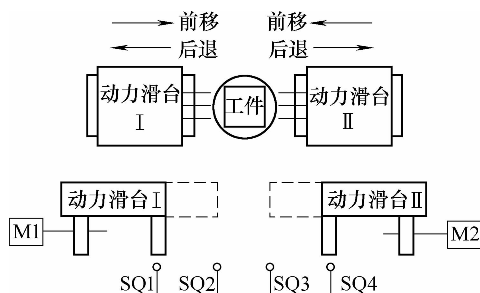


图 4-260 组合机床结构示意图

两个滑台循环工作过程相同，即电动机正转使滑台向前移动，到达行程终点后，压动终点限位开关 SQ2 或 SQ4，开关信号触发工作状态转换，使电动机反转，带动滑台向后移动，退回到起点位置后压下原位行程开关，各自完成一次循环过程。

当两个滑台组合构成组合机床后，两个分循环组合成整机工作循环，其自动循环工作过程采用如图 4-261 所示的方法表达，该图也称为设备工作循环图。工作循环图的形式可有多种，但是图中需要明确两个控制要素：一是组成工作过程的工作状态的数量和顺序关系；另一个是触发工作状态转换的信号及电气元件。图中工作过程由 3 个工作状态组成，信号电器为起动按钮 SB2，终点位置行程开关为 SQ2、SQ4，原位行程开犬为 SQ1 和 SQ3。

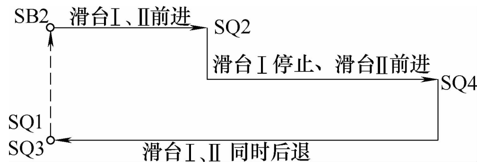


图 4-261 设备工作循环图

在循环图中，工作状态是设备完成具体工作的阶段，不同阶段的工作内容不同，换句话说，各阶段执行件（或执行电器）不同。

上例中，滑台前进与后退由电动机驱动，不同阶段，工作的电动机以及它们的转向不同。对电动机的转向控制是通过交流接触器完成的，因此电气系统控制的执行电器为交流接触器。电动机的驱动电路如图 4-262 所示。

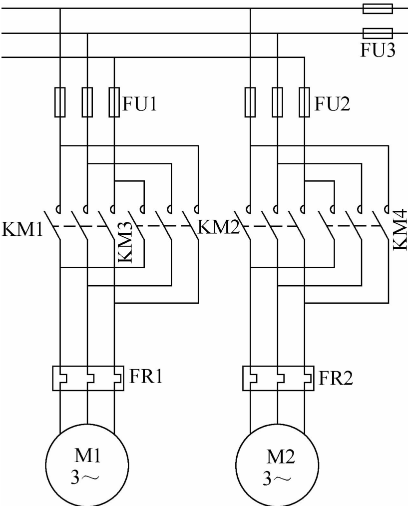


图 4-262　滑台电动机的驱动电路

滑台电动机 Ml、M2 的正反转分别由交流接触器 KM1、KM2、KM3、KM4 的主触点控制，交流接触器的线圈得电时，相应主触点闭合，接通电动机驱动电路，电动机转动。电动机的正反转组合状态对应于工作循环图中 3 个工作状态。

（2）设备信号条件与控制需求分析

PLC 工作时，需要由输入端口获取现场控制信号，并按控制要求，由输出端口送出驱动执行电器的控制信号。设备信号条件与控制需求分析的目的是确定进入 PLC 输入端口地信号和输出端口的信号，同时也是确定 PLC 输入/输出端口连接的电气元件。

例如组合机床工作状态转换信号由按钮和行程开关给出，因此 PLC 输入端口与这些元件连接；电动机驱动电路由交流接触器控制，PLC 输出端口信号的控制对象为交流接触器，端口连接器为交流接触器的电磁线圈。

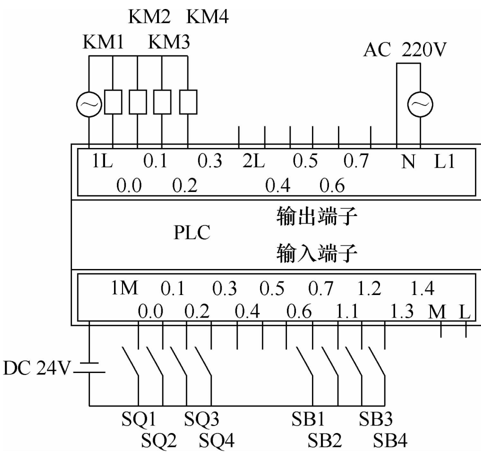


图 4-263　接线端子图

确定与 PLC 连接的电器需要分配端口地址，端口地址与电气元件的接线关系是以端子图的形式表达。端子地址也可以采用赋值表的形式分配，提供编程使用。但在实际安装过程中，仍然需要端子图说明接线关系。

接线端子图如图 4-263 所示，端子地址赋值表如表 4-61 所示，具体应用需要按照所选 PLC 产品使用说明书要求绘制。

表 4-61　端子地址赋值表

输入电器	输入端子地址	输入电器	输入端子地址	输出电器	输出端子地址
SQ1	I0.1	SB1	I1.1	KM1	Q0.0
SQ2	I0.2	SB2	I1.2	KM2	Q0.1
SQ3	I0.3	SB3	I1.3	KM3	Q0.2
SQ4	I0.4	SB4	I1.4	KM4	Q0.3

选用 PLC 产品的输入、输出端口数目必须满足处理信号数量的要求，并在此基础上增加一些备用端口，以满足设计变化和修改时的需求。

（3）设备控制过程分析

当控制设备的工作过程有较多种工作状态，针对每种状态又存在多个控制信号和执行元件时，需要使用设备控制流程图来说明系统的控制信号关系。

控制流程图设计是编制用户控制程序的一个重要工作阶段，在该工作阶段需要确定设备工作过程中各个工作状态之间的关系，确定每个工作状态所需要的控制条件与输出需求，并通过控制流程图来表达。

组成控制流程图有 3 个基本要素，即工作状态（也称工步）、状态开始与停止控制条件（工步控制条件）和状态内的输出执行件（执行件驱动信号），如图 4-264a 所示。

流程图设计过程，即是按照设备工作要求，安排各工作状态之间的顺序关系，配置控制各个工作状态转移的控制条件信号，设置各个工作状态的输出信号，以驱动相应的执行电气元件。机床例的控制流程图如图 4-264b 所示，输出电器 M 为中间状态控制。

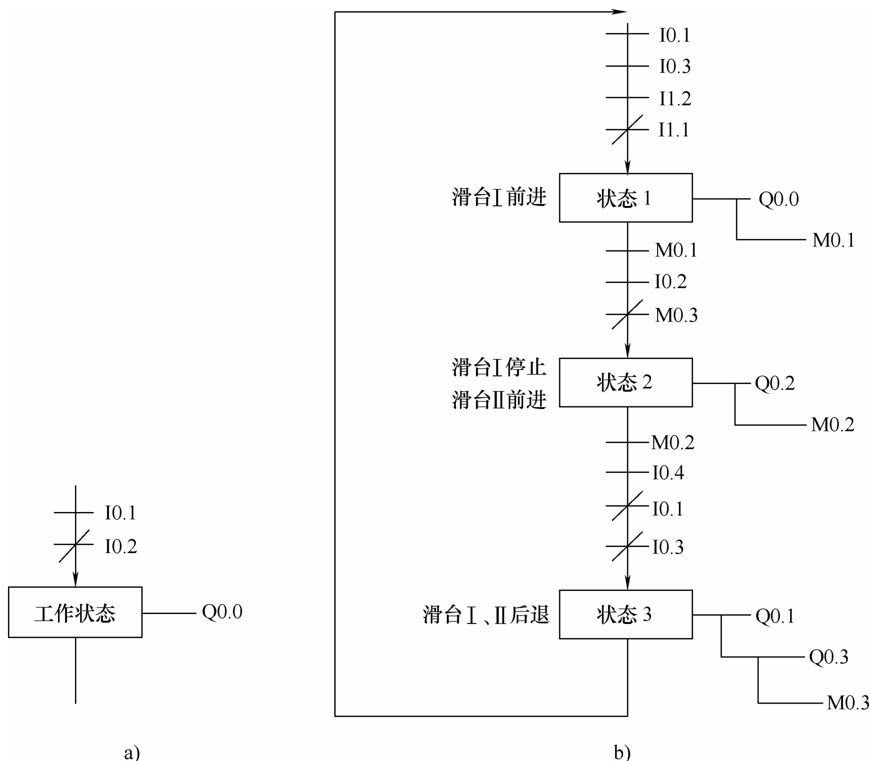


图 4-264　控制流程图

a）流程图基本要素　b）设备控制流程图

（4）程序设计与输入程序

通过控制流程图设计，确定设备所有的工作状态和控制信号关系后，即可以编制 PLC 用户程序，实施这些控制功能。在编制 PLC 用户程序时，通常使用编程软件完成，并通过编程软件将用户程序传送给 PLC 主机，也就是进行 PLC 用户程序的编制与输入。

编制 PLC 控制程序，可以用指令表形式，也可用梯形图形式。梯形图形式的程序与指

令表形式的程序可以通过软件互相转换，所以使用 PLC 编程软件编程时，一般采用编程人员自己熟悉的形式。

应注意的是，上述 4 个上作步骤在整个设计过程中，需要不断地互补和完善。

本 章 小 结

本章概括介绍了 PLC 的诞生、基本概况、特点、应用与迅猛发展；详尽介绍了 PLC 的硬软件组成和基本工作原理；重点剖析了德国西门子公司 S7-200 系列 PLC 的十三大编程器件及编程应用，它既是 PLC 的硬件资源，也是 PLC 编程的根基；逐条分析了西门子公司 S7-200 系列 PLC 最常用的基本指令和步进接点指令的助记符名称、功能、梯形图表示及可用器件、编程方法与应用举例；还着重介绍了西门子公司 S7-200 系列 PLC 的开发应用方法、编程规则与技巧、编程工具软件 STEP7-Micro/WIN 的使用以及 PLC 控制中常用的基本电路编程环节等。

本章是该新编教材的一个知识和技术的亮点，只有熟练掌握了 PLC 的硬软件资源和它的开发应用和技术，才能进行现代电气控制的 PLC 技术改造和开发研制。

习题与思考题

4-1　PLC 是怎样产生和发展起来的？其进一步发展的趋势将有哪些方面？
4-2　国际电工委员会对 PLC 是如何定义的？定义中应值得注意的有哪几点？
4-3　国际电工委员会对 PLC 制定的标准有哪些？
4-4　试述 PLC 有什么特点？其主要功能有哪些？
4-5　PLC 控制与其他工业控制系统相比较，各有哪些主要区别？
4-6　试述 PLC 的结构组成，分析各部分的作用。
4-7　什么是扫描和扫描周期？PLC 是如何扫描工作的？PLC 的扫描周期取决于什么？
4-8　PLC 的技术性能主要包含哪些内容？
4-9　PLC 的内存及 I/O 点数是如何分配的？
4-10　PLC 按结构形式分类有哪些类型？各有什么特点？
4-11　PLC 常用的编程语言有哪些？如何使用？
4-12　PLC 的特殊功能有什么特点？PLC 特殊功能的实现形式有哪些？
4-13　从功能用途上，PLC 的特殊功能大致可以分为哪几类？各有什么用途？
4-14　PLC 的主流产品有哪些？
4-15　PLC 的应用目前主要在哪些方面？
4-16　试述西门子 S7-200 系列 PLC 有什么特点？
4-17　试述 S7-200 系列 PLC 的主要硬、软件性能指标有哪些？
4-18　简述 S7-200 系列 PLC 硬件有哪些基本模块和扩展模块？各有什么用途？
4-19　简述 S7-200 系列 PLC 的 13 大编程器件是什么？它们的作用和地址编号是什么？
4-20　S7-200 系列 PLC 软件指令系统有多少条指令？常用的主要有哪些？
4-21　什么是顺序控制和顺序功能图？在 S7-200 系列 PLC 如何实现顺序控制？
4-22　S7-200 系列 PLC 有哪些功能指令和特殊功能指令？各有什么用途？
4-23　STEP 7-Micro/WIN 作为 S7-200 系列 PLC 的专用编程软件主要有哪些功能？如何应用？
4-24　S7-200 系列 PLC 的用户程序结构是如何组成的？
4-25　升级版 S7-200 编程软件 STEP 7-Micro/WIN4.0 编程软件主要有哪些功能？如何应用？
4-26　PLC 梯形图的编程规则与技巧主要有哪些？
4-27　PLC 控制中最基本的电路环节有什么用途？常用的有哪些？
4-28　程序编制与设计过程一般包含哪几个主要步骤？其生成的工作图有什么作用？

第 5 章　典型生产设备电气和 PLC 控制系统分析

主要内容:

（1）典型生产设备的结构、基本运动

（2）典型生产设备的电气和 PLC 控制控制系统

学习重点及教学要求:

（1）掌握普通车床设备的结构、基本运动、电气控制与 PLC 控制电路

（2）掌握摇臂钻床设备的结构、基本运动、电气控制与 PLC 控制电路

（3）掌握平面磨床设备的结构、基本运动、电气控制与 PLC 控制电路

（4）掌握组合机床设备的结构、基本运动、电气控制与 PLC 控制电路

（5）掌握数控机床设备的结构、基本运动、电气控制与 PLC 控制电路

生产设备的电气与 PLC 控制技术是综合了生产设备、电气控制和 PLC 应用技术的一门新兴科学，广大读者学习该技术的目无疑就是掌握典型生产设备的机械结构组成、生产工艺过程、对电气控制的要求以及传统生产设备的电气控制特点，从而学会安装/调试、操作/使用、维修/保养电控设备；并了解传统电气控制技术的落后，进而采用先进的 PLC 技术加以改造和研发创新。这就需要读者首先掌握识读和分析生产设备电气与 PLC 控制电路图的方法和步骤，会识读和分析常用典型生产设备电气和 PLC 控制电路图，特别是会依据传统控制原理而设计的 PLC 控制的梯形图或语句表程序。本章就以几种常用典型机床设备为例，介绍这种技能。

5.1　识读和分析电气与 PLC 控制电路图的方法和步骤

对于一般机床电气与 PLC 控制系统，都会给出机床电气与 PLC 控制电路图。机床电气与 PLC 控制电路图通常包括机床电气控制主电路与机床 PLC 控制的 I/O 接线图。这就是识读和分析机床电气与 PLC 控制梯形图和语句表程序的原始资料。识读和分析机床电气与 PLC 控制梯形图和语句表程序的方法和步骤如下：

1. 总体分析

（1）系统分析

依据控制系统所需完成的控制任务，对被控对象——机床的工艺过程、工作特点以及控制系统的控制过程、控制规律、功能和特征进行详细分析。明确输入、输出的物理量是开关量还是模拟量，明确划分控制的各个阶段及其特点，阶段之间的转换条件，画出完整的工作流程图和各执行元件的动作节拍表。

（2）看 PLC 控制电路主电路

通过看 PLC 控制电路主电路进一步了解工艺流程和对应的执行装置和元件。

（3）看 PLC 控制系统的 I/O 配置表和 PLC 的 I/O 接线图

通过看 PLC 控制系统的 I/O 配置表和 PLC 的 I/O 接线图，了解输入信号和对应输入继电器编号、输出继电器的分配及其所连接对应的负载。

在没有给出输入/输出设备定义和 I/O 配置的情况下，应根据 PLC 的 I/O 接线图或梯形图和语句表，定义输入/输出设备和配置 I/O。

（4）通过 PLC 的 I/O 接线图了解梯形图和语句表

PLC 的 I/O 接线是连接 PLC 控制电路主电路和 PLC 梯形图的纽带。

“继电器-接触器”电路图中的交流接触器和电磁阀等执行机构用 PLC 的输出继电器来控制，它们的线圈接在 PLC 的 I/O 接线的输出端。按钮、控制开关、限位开关、接近开关、传感测量元件等用来给 PLC 提供控制命令和反馈信号，它们的触点接在 PLC 的 I/O 接线的输入端。

1）根据所用电器（如电动机、电磁阀、电加热器等），主电路的控制电器（接触器、继电器），主触点的文字符号，在 PLC 的 I/O 接线图中找出相应控制电器的线圈，并可得知控制该控制电器的输出继电器，再在梯形图或语句表中找到该输出继电器的梯级或程序段，并将相应输出设备的文字代号标注在梯形图中输出继电器的线圈及其触点旁。

2）根据 PLCI/O 接线的输入设备及其相应的输入继电器，在梯形图（或语句表）中找出输入继电器的动合触点、动断触点，并将相应输入设备的文字代号标注在梯形图中输入继电器的触点旁。值得注意的是，在梯形图和语句表中，没有输入继电器的线圈。

3）对于采用移植设计法（“翻译法”）进行技术改造而得到的机床 PLC 控制系统，宜先进行已熟识的传统电气控制电路图的识读和分析，然后再进行 PLC 控制梯形图和语句表的识读和分析，会事半功倍。

2. 梯形图和语句表的结构分析

看其结构是采用一般编程方法还是采用顺序功能图编程方法？采用顺序功能图编程时是单序列结构还是选择序列结构、并行序列结构？是使用了“启-保-停”电路、步进顺控指令进行编程还是用置位复位指令进行编程？

另外，还要注意在程序中使用了哪些功能指令，对程序中不太熟悉的指令，还要查阅相关资料。

3. 梯形图和语句表的分解

由操作主令电路（如按钮）开始，查线追踪到主电路控制电器（如接触器）动作，中间要经过许多编程元件及其电路，查找起来比较困难。

无论多么复杂的梯形图和语句表，都是由一些基本单元构成的。按照主电路的构成情况，可首先利用逆读溯源法，把梯形图和语句表分解成与主电路的所用电器（如电动机）相对应的若干个基本单元（基本环节）；然后再利用顺读跟踪法，逐个环节加以分析；最后再利用顺读跟踪法把各环节串接起来。

将梯形图分解成若干个基本单元，每一个基本单元可以是梯形图的一个梯级（包含一个输出元件）或几个梯级（包含几个输出元件），而每个基本单元相当于“继电器－接触器”控制电路的一个分支电路。

（1）按钮、行程开关、转换开关的配置情况及其作用

在 PLC 的 I/O 接线图中有许多行程开关和转换开关，以及压力继电器、温度继电器等。

这些电气元件没有吸引线圈，它们触点的动作是依靠外力或其他因素实现的，因此必须先找到引起这些触点动作的外力或因素。其中行程开关由机械联动机构来触压或松开，而转换开关一般由手工操作。这样，使这些行程开关、转换开关的触点，在设备运行过程中便处于不同的工作状态，即触点的闭合、断开情况不同，以满足不同的控制要求，这是看图过程中的一个关键。

这些行程开关、转换开关触点的不同工作状态，单凭看电路图有时难以搞清楚，必须结合设备说明书、电气元件明细表，明确该行程开关、转换开关的用途；操纵行程开关的机械联动机构；触点在不同的闭合或断开状态下，电路的工作状态等。

（2）采用逆读溯源法将多负载（如多电动机电路）分解为单负载（如单电动机）电路

根据主电路中控制负载的控制电器的主触点文字符号，在 PLC 的 I/O 接线图中找出控制该负载的接触器线圈的输出继电器，再在梯形图和语句表中找出控制该输出继电器的线圈及其相关电路，这就是控制该负载的局部电路。

在梯形图和语句表中，很容易找到该输出继电器的线圈电路及其得电、失电条件，但引起该线圈的得电、失电及其相关电路有时就不太容易找到，可采用逆读溯源法去寻找。

1）在输出继电器线圈电路中串、并联的其他编程元件触点，这些触点的闭合、断开就是该输出继电器得电、失电的条件。

2）由这些触点再找出它们的线圈电路及其相关电路，在这些线圈电路中还会有其他接触器、继电器的触点。

3）如此找下去，直至找到输入继电器（主令电器）为止。

值得注意的是，当某编程元件得电吸合或失电释放后，应该把该编程元件的所有触点所带动的前后级编程元件的作用状态全部找出，不得遗漏。

找出某编程元件在其他电路中的动合触点、动断触点，这些触点为其他编程元件的得电、失电提供条件或者为互锁、联锁提供条件，引起其他电气元件动作，驱动执行电器。

（3）单负载电路的进一步分解

控制单负载的局部电路可能仍然很复杂，还需要进一步分解，直至分解为基本单元电路。

（4）分解电路的注意事项

1）由电动机主轴连接有速度继电器，可知该电动机按速度控制原则组成反接制动电路。

2）若电动机主电路中接有整流器，表明该电动机采用能耗制动停车电路。

4. 集零为整，综合分析

把基本单元电路串起来，采用顺读跟踪法分析整个电路。综合分析时应注意以下几个方面：

1）分析 PLC 梯形图和语句表的过程同 PLC 扫描用户程序的过程一样，从左到右、自上而下，按梯级或程序段的顺序逐级分析。

2）值得指出的是，在程序的执行过程中，在同一周期内，前面的逻辑运算结果影响后面的触点，即执行的程序用到前面的最新中间运算结果；但在同一周期内，后面的逻辑运算结果不影响前面的逻辑关系。该扫描周期内除输入继电器以外的所有内部继电器的最终状态（线圈导通与否、触点通断与否），将影响下一个扫描周期各触点的通与断。

3）某编程元件得电，其所有动合触点均闭合、动断触点均断开。某编程元件失电，其所有已闭合的动合触点均断开（复位），所有已断开的动断触点均闭合（复位）；因此编程元件得电、失电后，要找出其所有的动合触点、动断触点，分析其对相应编程元件的影响。

4）按钮、行程开关、转换开关闭合后，其相对应的输入继电器得电，该输入继电器的所有动合触点均闭合，动断触点均断开。

再找出受该输入继电器动合触点闭合、动断触点断开影响的编程元件，并分析使这些编程元件产生什么动作，进而确定这些编程元件的功能。值得注意的是，这些编程元件有的可能立即得电动作，有的并不立即动作而只是为其得电动作做好准备。

在“继电器-接触器”控制电路中，停止按钮和热继电器均用动断触点，为了与“继电器-接触器”控制的控制关系相一致，在 PLC 梯形图中，同样也用动断触点，这样一来，与输入端相接的停止按钮和热继电器触点就必须用动合触点。在识读程序时必须注意这一点。

5）“继电器-接触器”电路图中的中间继电器和时间继电器的功能用 PLC 内部的辅助继电器和定时器来完成，它们与 PLC 的输入继电器和输出继电器无关。

6）设置中间单元，在梯形图中，若多个线圈都受某一触点串并联电路的控制，为了简化电路，在梯形图中可设置用该电路控制的辅助继电器，辅助继电器类似于“继电器-接触器”电路中的中间继电器。

7）时间继电器瞬动触点的处理。除了延时动作的触点外，时间继电器还有在线圈得电或失电时马上动作的瞬动触点。对于有瞬动触点的时间继电器，可以在梯形图中对应的定时器的线圈两端并联辅助继电器，后者的触点相当于时间继电器的瞬动触点。

8）外部联锁电路的设立。为了防止控制电动机正反转的两个接触器同时动作，造成三相电源短路，除了在梯形图中设置与它们对应的输出继电器的线圈串联的动断触点组成的软互锁电路外，还应在 PLC 外部设置硬互锁电路。

下面对现实生产中常用的几种典型机床设备电气与 PLC 控制电路图进行示范分析。

5.2　CA6140 普通车床的电气与 PLC 控制电路图分析

5.2.1　CA6140 普通车床的机械结构和主要运动

车床是机械加工业中应用最广泛的一种机床，约占机床总数的 25% ~50%。在各种车床中，使用最多的就是普通车床。

普通车床主要用来车削外圆、内圆、端面和螺纹等，还可以安装钻头或铰刀等进行钻孔和铰孔等加工。

1. 普通车床的结构

普通车床的结构如图 5-1 所示，主要由床身、主轴变速箱、进给箱、挂轮箱、溜板箱、溜板与刀架、尾架、丝杠、光杠等组成。

2. 车床的运动形式

车床在加工各种旋转表面时必须具有切削运动和辅助运动。切削运动包括主运动和进给

运动；而切削运动以外的其他运动皆称为辅助运动。

车床的主运动为工件的旋转运功，由主轴通过卡盘或顶尖去带动工件旋转，它承受车削加工时的主要切削功率。车削加工时，应根据被加工零件的材料性质、工件尺寸、加工方式、冷却条件及车刀等来选择切削速度，这就要求主轴能在较大的范围内调速。对于普通车床，调速范围 D 一般≥70。调速的方法可通过控制主轴变速箱外的变速手柄来实现。车削加工时一般不要求反转，但在加工螺纹时，为避免乱扣，要求反转退刀，再纵向进刀继续加工，这就要求主轴能够正、反转。主轴旋转是由主轴电动机经传动机构拖动的，因此主轴的正、反转可通过操作手柄采用机械方法来实现。

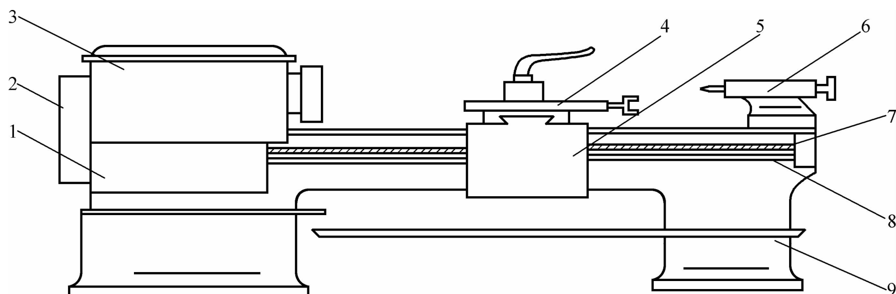


图 5-1　普通车床的结构示意图

1—进给箱　2—挂轮箱　3—主轴变速箱　4—溜板与刀架　5—溜板箱

6—尾架　7—丝杠　8—光杠　9—床身

车床的进给运动是指刀架的纵向或横向直线运动，其运动形式有手动和机动两种。加工螺纹时，工件的旋转速度与刀具的进给速度应有严格的比例关系，所以车床主轴箱输出轴经挂轮箱传给进给箱，再经光杆传入溜板箱，以获得纵、横两个方向的进给运动。

车床的辅助运动有刀架的快速移动和工件的夹紧与松开。

图 5-2 为普通车床传动系统的框图。

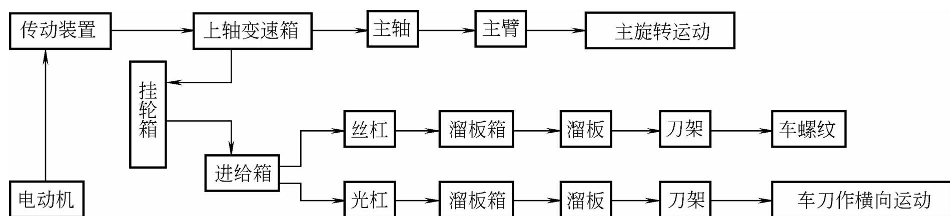


图 5-2　普通车床传动系统的框图

3. 车床的控制特点

1） 主轴能在较大的范围内调速。

2） 调速的方法可通过控制主轴变速箱外的变速手柄来实现。

3）加工螺纹时，要求反转退刀，这就要求主轴能够正、反转。主轴的正、反转可通过采用机械方法如操作手柄获得；也可通过按钮直接控制主轴电动机的正、反转。

4. CA6140 普通车床的结构外形图

CA6140 普通车床的结构外形图如图 5-3 所示。

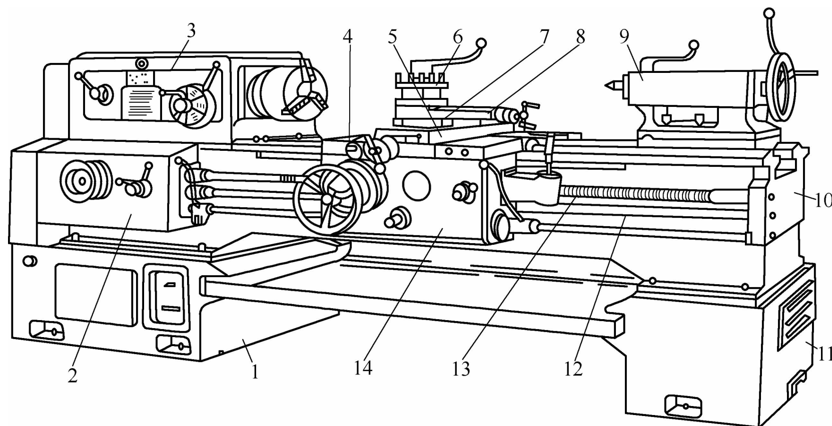


图 5-3　CA6140 普通车床的结构外形图

1、11—床卧　2—进给箱　3—主轴箱　4—床鞍　5—中溜板　6—刀架　7—回转盘
8—小溜板　9—尾座　10—床身　12—光杠　13—丝杠　14—溜板箱

5.2.2　CA6140 普通车床的电气控制电路

CA6140 普通车床的电气控制电路如图 5-4 所示。

主电动机 M1：完成主轴旋转的主运动和刀具的纵/横向进给运动的驱动，电动机为三相笼型异步电动机，采用全压起动方式，主轴采用机械变速，正反转采用机械换向机构。

冷却泵电动机 M2：加工时提供冷却液，防止刀具和工件的温升过高；采用全压起动和连续工作方式。

刀架快速移动电动机 M3：用于刀架的快速移动，可手动随时控制其起动和停止。

5.2.3　CA6140 普通车床的 PLC 控制系统分析

1. PLC 的 I/O 配置和 PLC 的 I/O 接线

该车床的 PLC 控制系统是由原电控装置采用移植设计法进行技术改造而完成。

由图 5-4 可知，要实现 PLC 控制：需要输入信号 6 个，输出信号 3 个，全部为开关量。PLC 可选用 CPU221AC/DC/继电器（AC100 ~ 230V 电源/DC24V 输入/继电器输出）。

其输入/输出电器及 PLC 的 I/O 配置见表 5-1。

PLC 控制电路的主电路见图 5-4a，PLC 的 I/O 接线如图 5-5 所示，图中输入信号使用 PLC 提供的内部电源为 DC24V；负载使用的外部电源为 AC220V；PLC 电源为 AC220V。

2. CA6140 型机床 PLC 控制的梯形图程序

CA6140 型机床 PLC 控制的梯形图程序如图 5-6 所示（图中［n］表示梯形图的梯级 n 与语句表中的段数 n）。

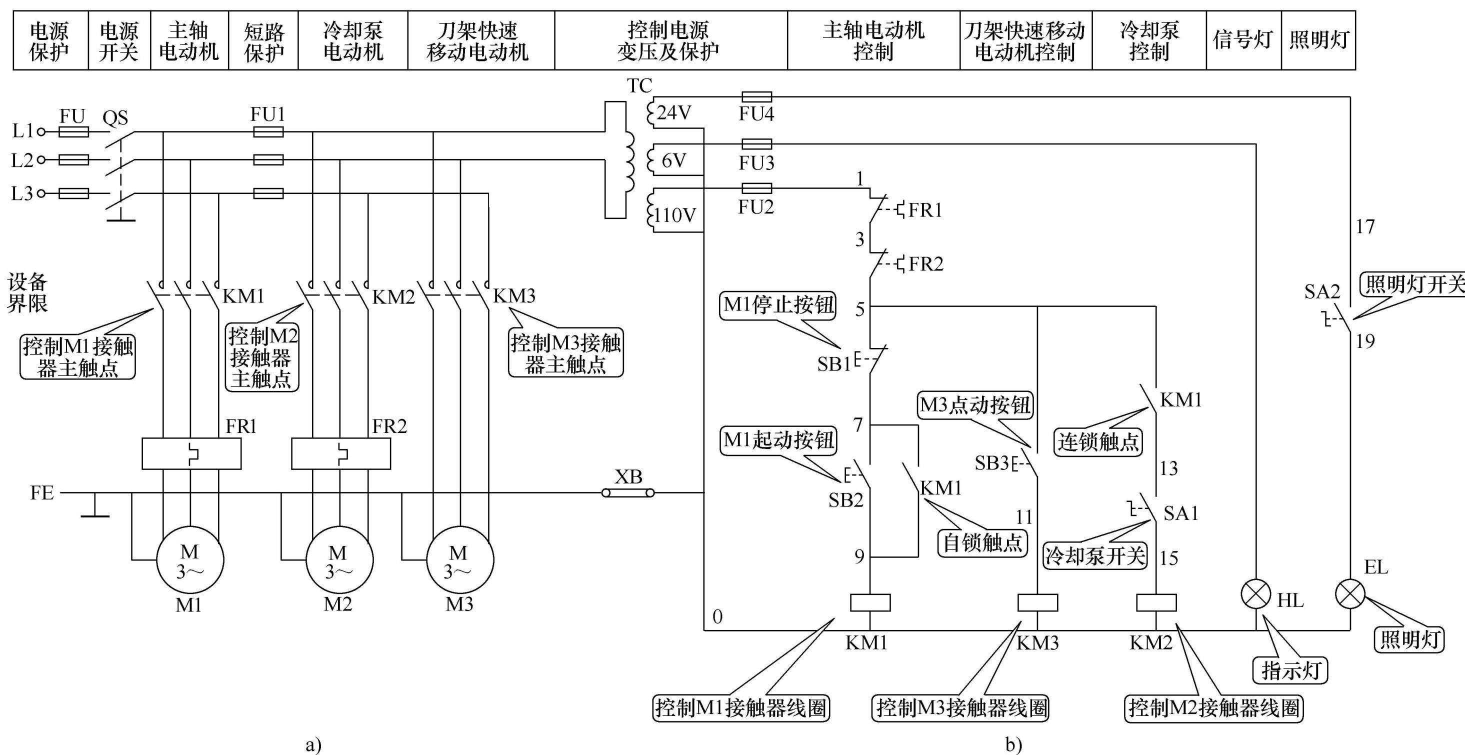


图 5-4　CA6140 普通车床的电气控制电路

a）主电路　b）控制电路

表 5-1　输入/输出电器与 PLC 的 I/O 配置

输入设备		PLC 输入继电器	输出设备		PLC 输出继电器
符　号	功　能		符　号	功　能	
SB2	M1 起动按钮	I0.0	KM1	M1 接触器	Q0.0
SB1	M1 停止按钮	I0.1	KM2	M2 接触器	Q0.1
FR1	M1 热继电器	I0.2	KM3	M3 接触器	Q0.2
FR2	M2 热继电器	I0.3			
SA1	M2 转换开关	I0.4			
SB3	M3 点动按钮	I0.5			

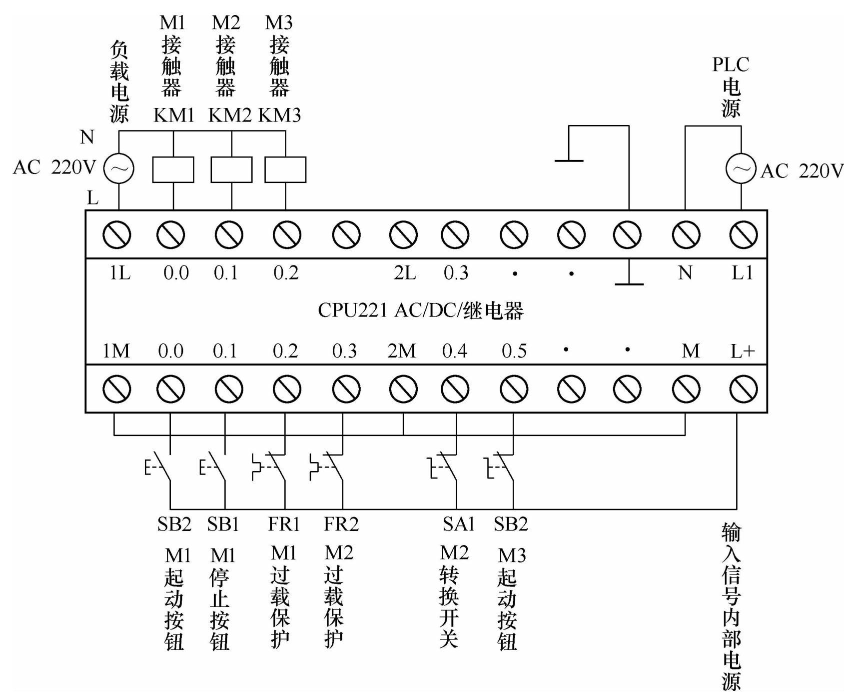


图 5-5　CA6140 型机床 PLC 的 I/O 接线图

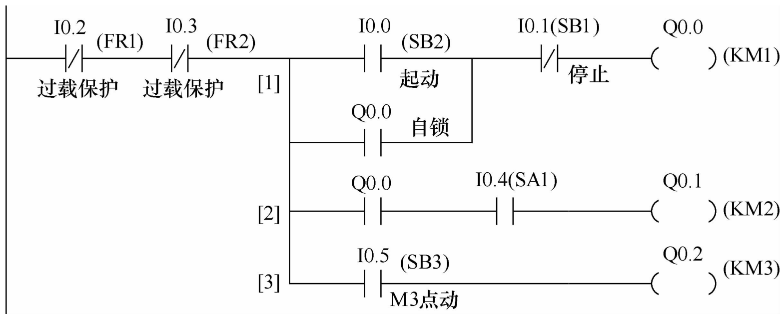
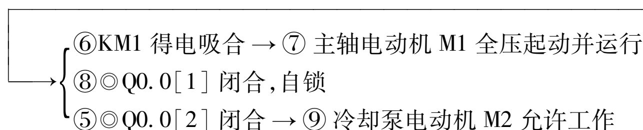


图 5-6　CA6140 型机床 PLC 控制的梯形图程序

3. 电路工作过程分析

（1）主轴电动机 M1 的控制



1）M1 运行：加“◎”前缀表示动合（常开）触点。

2）M1 停止：加“#”前缀表示动断（常闭）触触点。

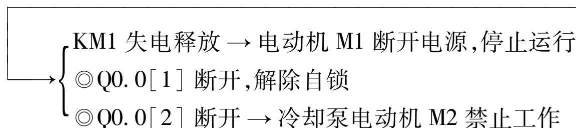
（2）冷却泵电动机 M2 的控制

◎Q0.0［2］闭合，冷却泵电动机 M2 允许工作、接下来按下面的顺序执行。

1）M2 运行：

合上转换开关 SA1→输入继电器 I0.4 得电→◎I0.4 闭合→输出继电器 Q0.1 得电→KM2 得电吸合→冷却泵电动机 M2 全压起动后运行。

2）M2 停止：



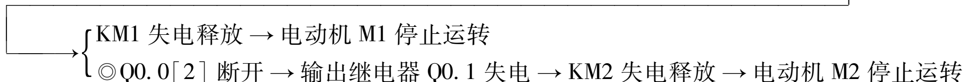
断开转换开关 SA1→输入继电器 I0.4 失电→◎I0.4 断开→输出继电器 Q0.1 失电→KM2 失电释放→冷却泵电动机 M2 停止运行。

（3）刀架快速移动电动机 M3 控制

按下起动按钮 SB3→输入继电器 I0.5 得电→◎I0.5［3］闭合→输出继电器 Q0.2 得电→KM3 得电吸合→快速移动电动机 M3 点动运行。

（4）过载及断相保护

热继电器 FR1、FR2 分别对电动机 M1 利 M2 进行过载保护；由于快速移动电动机 M3 为短时工作制，不需要过载保护。



5.3　C650 卧式车床的电气与 PLC 控制电路图分析

5.3.1　C650 卧式车床的机械结构、运动形式、拖动形式及控制要求

C650 卧式车床的外形图如图 5-7 所示。它主要由床身、主轴变速箱、尾座、进给箱、丝杠、光杆、刀架和溜板箱等组成。

车削加工的主运动是主轴通过卡盘或顶尖带动工件作旋转运动，它承受车削加工时的主要切削功率。进给运动是溜板带动刀架的纵向或横向运动。

为了保证螺纹加工的质量，要求工件的旋转运动和刀具的移动速度之间具有严格的比例关系。为此，C650 车床溜板箱和主轴变速箱之间通过齿轮传动来连接，同用一台电动机拖动。

在车削加工中一般不要求反转，但加工螺纹时，为避免乱扣，加工完毕后要求反转退刀，以致通过主电动机的正反转来实现主轴的正反转。当主轴反转时，刀架也跟着后退。车削加工时，工作点的温度往往很高，需要配备冷却泵及电动机。由于 C650 车床的床身较长，为了减少辅助工作时间，特设置一台 2.2kW 的电动机来拖动溜板箱快速移动，并采用点动控制。

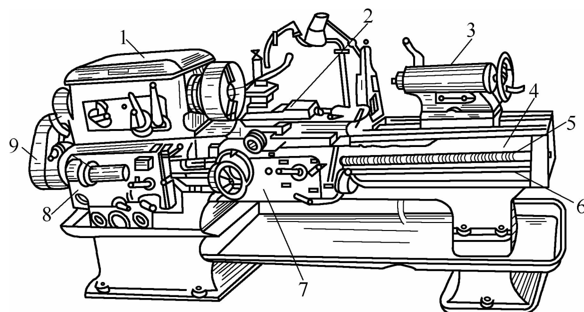


图 5-7　C650 卧式车床的外形图

1—主轴变速箱　2—溜板与刀架　3—尾座　4—床身　5—丝杠　6—光杆　7—溜板箱　8—进给箱　9—挂笼箱

一般车床的调速范围较大，常用齿轮变速机构来实现调速。在 C650 车床中，主电动机选用了 30kW 的普通笼型三相异步电动机，采用反接制动。车削加工的主运动是由主轴通过卡盘带动工件旋转运动。

5.3.2　C650 卧式车床的电气控制电路

C650 型卧式车床共配置 3 台电动机 M1、M2 和 M3，其电气控制电路图如图 5-8 所示。

主电动机 M1 完成主轴旋转主运动和刀具进给运动的驱动，采用直接起动方式，可正反两个方向旋转，并可进行正反两个旋转方向的电气反接制动停车。为加工调整方便，还具有点动功能。电动机 M1 控制电路分为 4 个部分。

1）由正转控制接触器 KM1 和反转控制接触器 KM2 的两组主触点构成电动机的正反转电路。

2）电流表 PA 经电流互感器 TA 接在电动机 M1 的主电路上，以监视电动机绕组工作时的电流变化。为防止电流表被起动电流冲击损坏，利用时间继电器的动断触点 KT（P-Q），在起动的短时间内将电流表暂时短接，等待电动机正常运行时再进行电流测量。

3）串联电阻限流控制部分。接触器 KM3 的主触点控制限流电阻 R 的接入和切除，在进行点动调整时，为防止连续的起动电流造成电动机过载和反接制动时电流过大而串入了限流电阻 R，以保证电路设备正常工作。

4）速度继电器 KS 的速度检测部分与电动机的主轴同轴相联，在停车制动过程中，当主电动机转速接近零时，其动合触点可将控制电路中反接制动的相应电路及时切断，既完成停车制动又防止电动机反向起动。

电动机 M2 提供切削液，采用直接起动/停止方式，为连续工作状态，由接触器 KM4 的主触点控制其主电路的接通与断开。

快速移动电动机 M3 由交流接触器 KM5 控制，根据使用需要，可随时手动控制起停。

为保证主电路的正常运行，主电路中还设置了采用熔断器的短路保护环节和采用热继电器的电动机过载保护环节。

图 5-8　C650 卧车车床的电气控制电路

a）主电路　b）控制电路

（1）M1 的点动控制

调整刀架时，更求 M1 点动控制。合上隔离开关 QS，按起动按钮 SB2，接触器 KM1 得电，M1 串接电阻 R 低速转动，实现点动。松开 SB2，接触器 KM1 失电，M1 停转。

（2）M1 的正反转控制

合上隔离开关 QS，按正向按钮 SB3，接触器 KM3 得电，中间继电器 KA 得电，时间继电器 KT 得电，接触器 KM1 得电，电动机 M1 短接电阻 R 正向转动，主电路中电流表 A 被时间继电器 KT 的动断触点短接，延时 ts 后 KT 的延时断开的动断触点断开，电流表 A 串接于主电路，监视负载情况。

主电路中通过电流互感器 TA 接入电流表 PA，为防止起动时起动电流对电流表的冲击，起动时利用时间继电器 KT 的动断触点将电流表短接，起动结束，KT 的动断触点断开，电流表投入使用。

反转起动的情况与正转时类似，KM3 与 KM2 得电，电动机反转。

（3）M1 的停车制动控制

假设停车前 M1 为正向转动，当速度≥120r/min 时，速度继电器正向动断触点 KS（17-23）闭合。制动时，按下停止按钮 SB1，使接触器 KM3、时间继电器 KT、中间继电器 KA、接触器 KM1 均失电，主回路中串入电阻 R（限制反接制动电流）。当 SB1 松开时，由于 M1 仍处在高速状态，速度继电器的触点 KS（17-23）仍闭合，使得 KM2 得电，电动机接入反序电源制动，使 M1 快速减速。当速度降低到≤100r/min 时，KS（17-23）断开，使得 KM2

失电，反接制动电源切除，制动结束。

电动机 M1 反转时的停车制动情况与此类似。

（4）刀架的快速移动控制

转动刀架手柄压下点动行程开关 SQ 使接触器 KM5 得电。电动机 M3 转动，刀架实现快速移动。

（5）冷却泵电动机控制

按下冷却泵起动按钮 SB6，接触器 KM4 得电，电动机 M2 转动，提供冷却液。按下冷却泵停止按钮 SB5，KM4 失电，M2 停止。

5.3.3　C650 卧式车床的 PLC 控制系统分析

1. PLC 的 I/O 配置及 PLC 的 I/O 接线

该车床的 PLC 控制系统也是由原电控装置采用移植设计法进行技术改造而完成。在将继电器控制电路改造为 PLC 控制时，一般原控制系统的各个按钮、热继电器、速度继电器反接触器全都还要使用，并需要分别与 PLC 的 I/O 接口连接。PLC 的 I/O 配置见表 5-2，PLC 控制电路的主电路如图 5-8a 所示，PLC 的 I/O 接线图如图 5-9 所示。机床原配的热继电器采用 PLC 机外与接触器线圈连接方式，这样的安排可使过载保护更加可靠。快速移动电动机的控制十分简单，为节省接口也不通过 PLC，将 KM5 与行程开关 SQ 串接后直接接入电源。另安排定时器 T37 代替原来电路中的时间继电器 KT。

表 5-2　C650 卧式车床的 PLC I/O 配置

输入设备		PLC 输入继电器	输出设备		PLC 输出继电器
代　号	功　能		代　号	功　能	
SB1	停止按钮	I0.0	KM1	主轴正转接触器	Q0.0
SB2	点动按钮	I0.1	KM2	主轴反转接触器	Q0.1
SB3	正转起动按钮	I0.2	KM3	切断电阻接阻器	Q0.2
SB4	反转起动按钮	I0.3	KM4	冷却泵接触器	Q0.3
SB5	冷却泵停止	I0.4	KM5	快速电动机接触器	Q0.4
SB6	冷却泵起动	I0.5			
KS1	速度继电器正转触点	I0.6			
KS2	速度继电器反转触点	I0.7			

2. C650 卧式机床 PLC 控制的梯形图程序

由于继电接触器电路中无论主轴电动机正转还是反转，切除限流电阻接触器 KM3 都是首先动作，在梯形图中，安排第一个支路为切除电阻控制支路。在正转及反转接触器控制支路中，综合了自保持、制动两种控制逻辑关系。正转控制中还加有手动控制。

在如图 5-10 所示的梯形图中，用定时器 T37 代替图 5-8 中的时间继电器 KT，并且通过 T37 控制 Q0.5→KM6 的动断触点 KM6（P-Q），在起动的短时间内将电流表暂时短接。

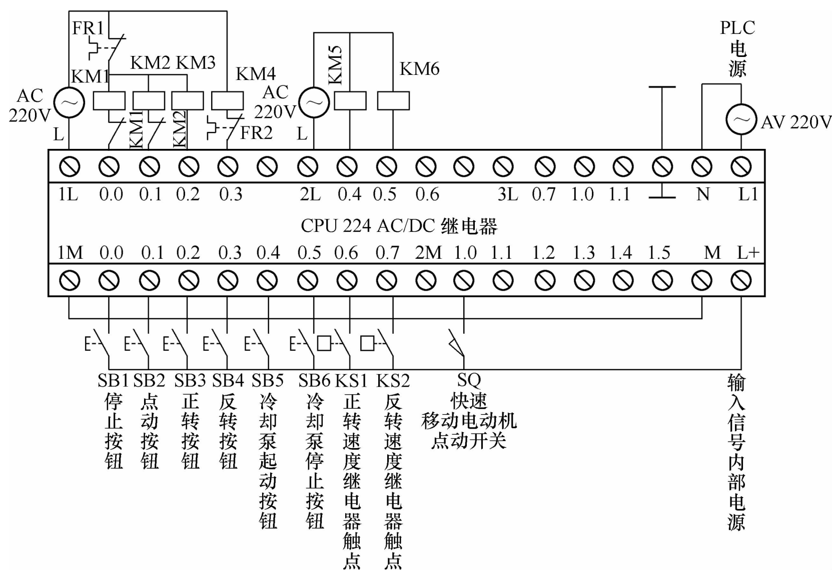


图 5-9　C650 卧式机床的 PLCI/O 接线图

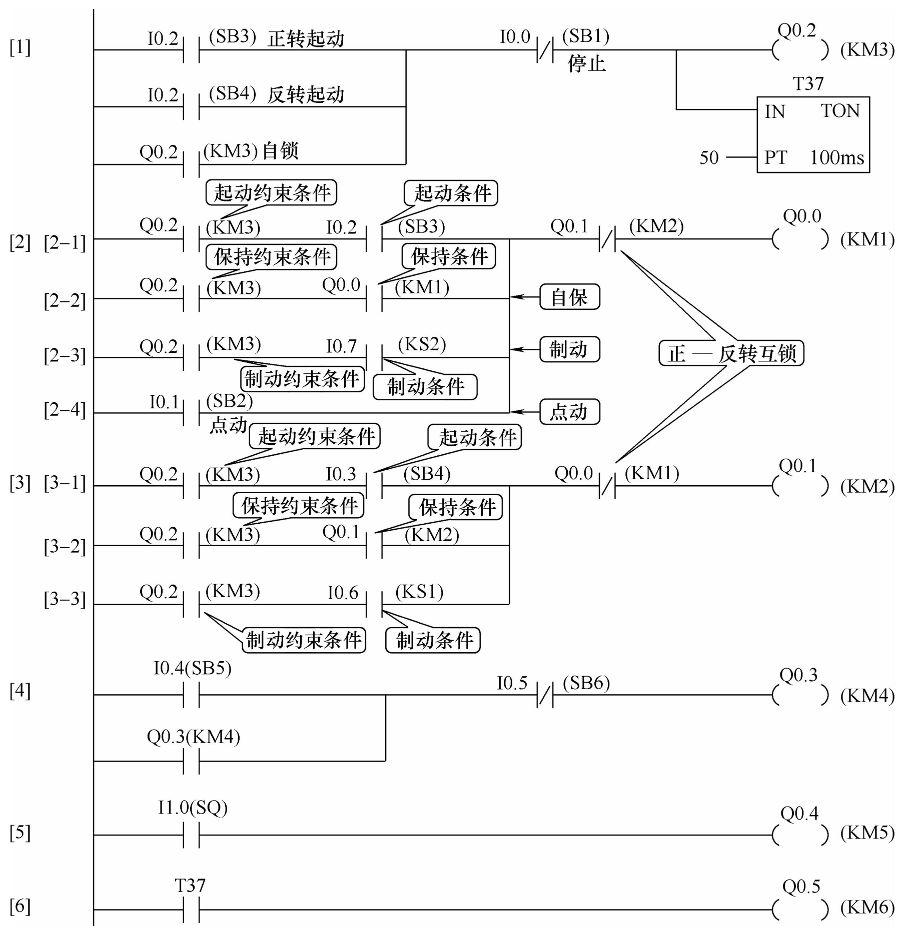


图 5-10　C650 卧式机床 PLC 控制的梯形图程序

3. 电路工作过程分析

（1） 主轴电动机 M1 正转点动控制

按下正转点动按钮 SB2 → 输入继电器 I0.1 得电 → ◎I0.1[2-4] 闭合 → Q0.0[2] 得电 → KM1 得电吸合 → 电动机 M1 正转起动

松开正转点动按钮 SB2 → 输入继电器 I0.1 失电 → ◎I0.0[2-4] 断开 → Q0.0[2] 失电 → KM1 失电释放 → 电动机 M1 正转停止

（2） 主轴电动机 M1 正转控制

主轴电动机 M1 正转控制扫描周期顺序如图 5-11 所示。

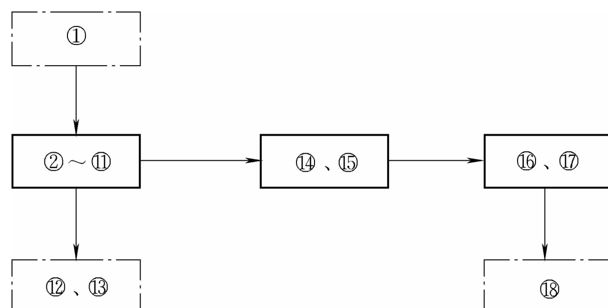
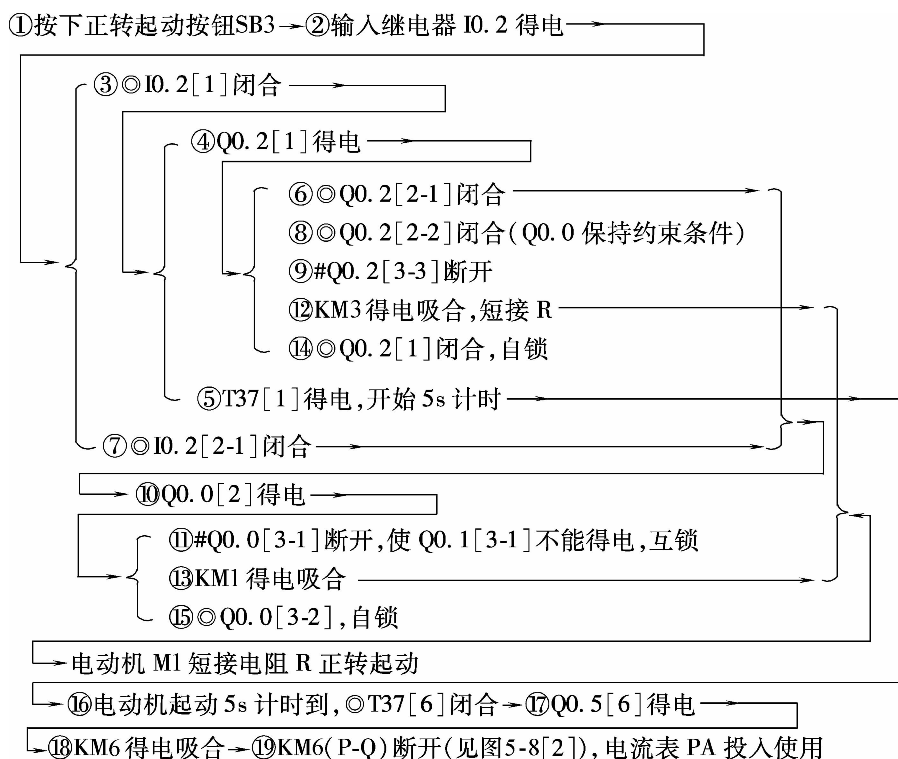


图 5-11　主轴电动机 M1 正转控制扫描周期顺序



（3） 主轴电动机 M1 正转停车制动

主轴电动机 M1 正转停车制动扫描周期顺序如图 5-12 所示。

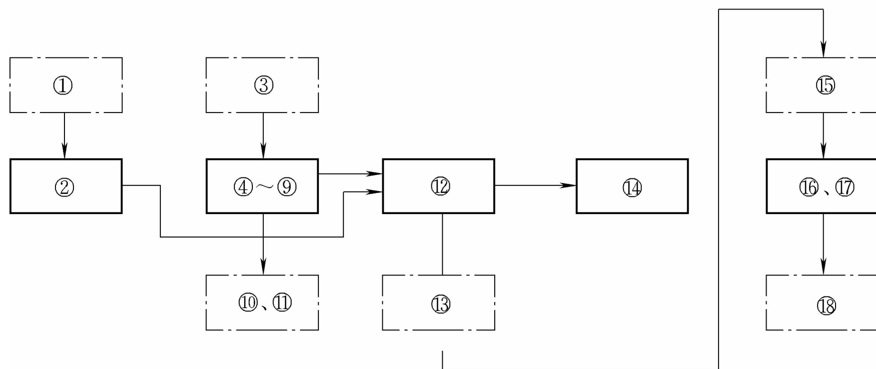
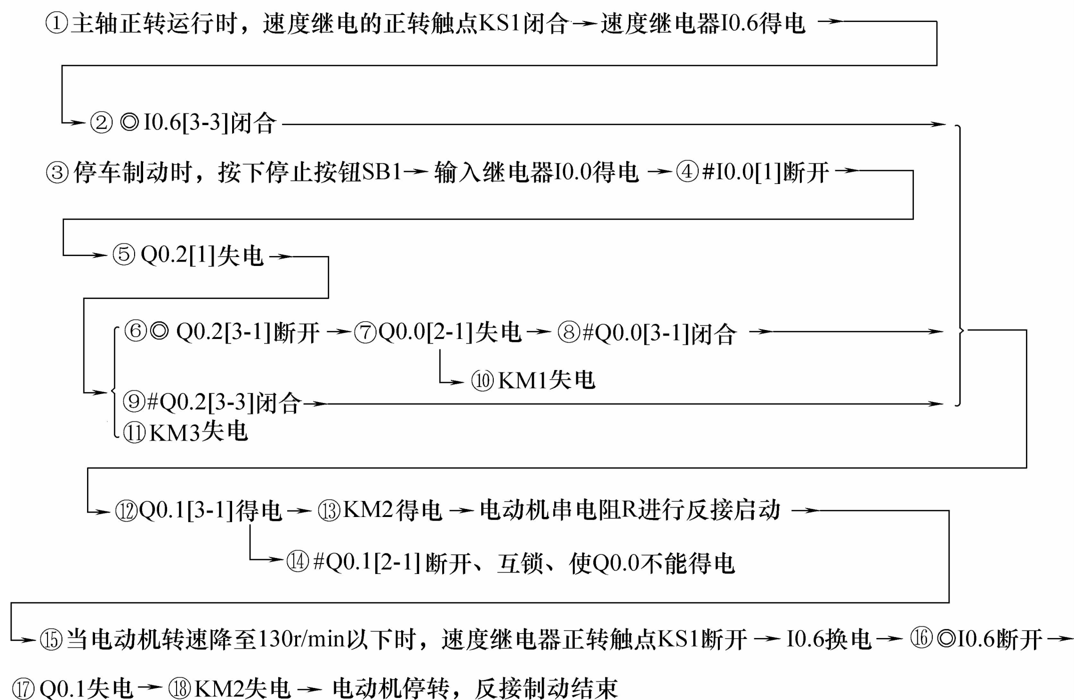


图 5-12　主轴电动机 M1 正转停车制动扫描周期顺序



5.4　Z3040 摇臂钻床的电气与 PLC 控制系统分析

摇臂钻床利用旋转的钻头对工件进行加工。它由底座、内外立柱、摇臂、主轴箱和工作台构成，主轴箱固定在摇臂上，可以沿摇臂径向运动；摇臂借助于丝杠，可以做升降运动；也可以与外立柱固定在一起，沿内立柱旋转。钻削加工时，通过夹紧装置，主轴箱紧固在摇臂上，摇臂紧固在外立柱上，外方柱紧固在内立柱上。

5. 4. 1 Z3040 摇臂钻床的机械结构和主要运动

1. Z3040 摇臂钻床的机械结构

Z3040 摇臂钻床主要由底座、内立柱、外立柱、摇臂、主轴箱及工作台等部分组成，Z3040 摇臂钻床的结构组成如图 5-13 所示。

2. Z3040 摇臂钻床的主要运动

摇臂钻床的内立柱固定在底座的一端，在它的外面套有外立柱，外立柱可绕内立柱回转 360°。摇臂的一端为套筒，它套装在外立柱上，并借助丝杠的正反转可沿外立柱做上下移动；由于该丝杠与外立柱连成一起，且升降螺母固定在摇臂上，所以摇臂不能绕外立柱转动，只能与外立柱一起绕内立柱回转。主轴箱是一个复合部件，它由主传动电动机、主轴和主轴传动机构、进给和变速机构以及机床的操作机构等部分组成，主轴箱安装在摇臂的水平导轨上，可通过手轮操作使其在水平导轨上沿摇臂移动。当进行加工时，由特殊的夹紧装置将主轴箱紧固在摇臂导轨上，外立柱紧固在内立柱上，摇臂紧固在外立柱上，然后进行钻削加工。钻削加工时，钻头一面进行旋转切削，一面进行纵向进给。

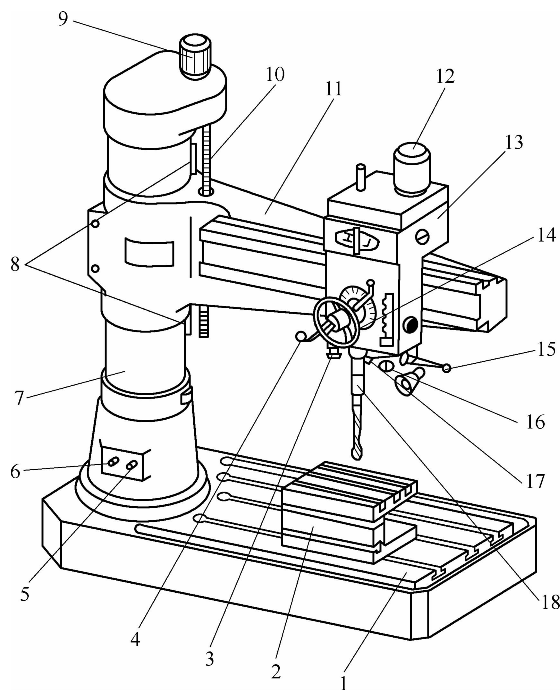


图 5-13 Z3040 型摇臂钻床的结构示意图

1—底座 2—工作台 3—进给量预置手轮 4—离合器操纵杆 5—电源自动开关 6—冷却泵自动开关 7—外立柱 8—摇臂上下运动极限保护行程开关触杆 9—摇臂升降电动机 10—升降传动丝杠 11—摇臂 12—主轴驱动电动机 13—主轴箱 14—电气设备操作按钮盒 15—组合阀手柄 16—手动进给小手轮 17—内齿离合器操作手柄 18—主轴

Z3040 型摇臂钻床的主运动为主轴旋转（产生切削）运动。进给运动为主轴的纵向进给。辅助运动包括摇臂在外立柱上的垂直运动（摇臂的升降），摇臂与外立柱一起绕内立柱的旋转运动及主轴箱沿摇臂长度方向的运动。对于摇臂在立柱上的升降时的松开与夹紧，Z3040 型摇臂钻则是依靠液压推动松紧机构自动进行的。Z3040 型摇臂钻床的结构与运动情况示意图，如图 5-14 所示。

5. 4. 2 Z3040 摇臂钻床的电气控制电路

Z3040 摇臂钻床的电气控制电路如图 5-15 所示。它主要包括主轴电动机 M1 的控制、摇臂升降电动机 M2、液压泵电动机 M3 和冷却泵电动机 M4 的控制以及立柱主轴箱的松开和夹紧控制等。

主轴电动机 M1 提供主轴转动的动力，是钻床加工主运动的动力源；主轴应具有正反转功能，但主轴电动机只有正转工作模式，反转由机械方法实现。冷却泵电动机用于提供冷却液，只需正转。摇臂升降电动机提供摇臂升降的动力，需要正、反转。液压泵电动机提供液

压油，用于摇臂、立柱利主轴箱的夹紧和松开，也需要正、反转。

Z3040 摇臂钻床的操作主要通过手轮及按钮实现。手轮用于主轴箱在摇臂上的移动，这是手动的。按钮用于主轴的起动/停止、摇臂的上升/下降、立柱主轴箱的夹紧/松开等操作，再配合限位开关实现对机床的调控。

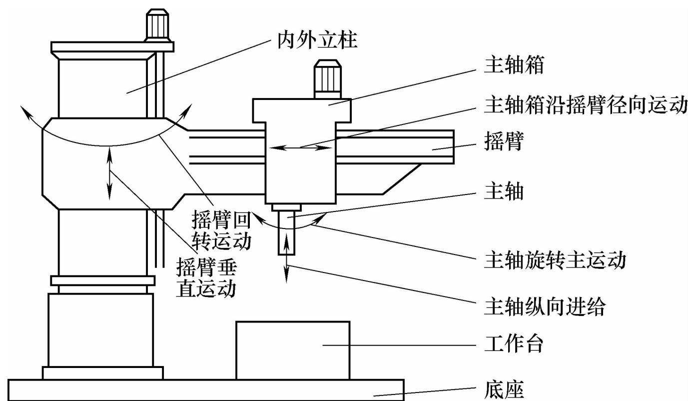


图 5-14　Z3040 摇臂钻床的结构与运动情况示意图

（1）主轴电动机 M1 的控制

按下按钮 SB2，接触器 KM1 得电吸合并自锁，主轴电动机 M1 起动运转，指示灯 HL3 亮。按下停止按钮 SB1 时，接触器 KM1 失电释放，M1 失电停止运转。热继电器 FR1 起过载保护作用。

（2）摇臂升降电动机 M2 和液压泵电动机 M3 的控制

按下按钮 SB3（或 SB4）时，断电延时时间继电器 KT 导电吸合，接触器 KM4 和电磁铁 YA 得电吸合。液压泵电动机 M3 起动运转，供给压力油，压力油经液阀进入摇臂松开油腔，推动活塞和菱形块使摇臂松开。同时限位开关 SQ2 被压住，SQ2 的动断触头断开，接触器 KM4 失电释放，液压泵电动机 M3 停止运转。SQ2 的动合触头闭合，接触器 KM2（或 KM3）得电吸合，摇臂升降电动机 M2 起动运转，使摇臂上升（或下降）。若摇臂未松开，SQ2 的动合触头不闭合，接触器 KM2（或 KM3）也不能得电吸合，摇臂就不可能升降。摇臂升降到所需位置时松开按钮 SB3（或 SB4），接触器 KM2（或 KM3）和时间继电器 KT 失电释放，电动机 M2 停止运转，摇臂停止升降。时间继电器 KT 延时闭合的动断触头经延时闭合，使接触器 KM5 吸合，液压泵电动机 M3 反方向运转，供给压力油。经过机械液压系统，压住限位开关 SQ3，使接触器 KM5 释放。同时，时间继电器 KT 的动合触头延时断开，电磁铁 YA 释放．液压泵电动机 M3 停止运转。

KT 的作用是控制 KM5 的吸合时间，保证 M2 停转、摇臂停止升降后再进行夹紧。摇臂的自动夹紧升降由限位开关 SQ3 来控制。压合 SQ3，使 KM2 或 KM3 失电释放，摇臂升降电动机 M2 停止运转。摇臂升降限位保护由上下限位开关 SQ 1U和 SQ 1D实现。上升到极限位置后，动断触头 SQ 1U断开，摇臂自动夹紧，与松开上升按钮动作相同；下降到极限位置后，动断触头 SQ 1D断开，摇臂自动夹紧，与松开下降按钮动作相同；SQ1 的两对动合触头需调整在“同时”接通位置，动作时一对接通、一对断开。

（3）立柱、主轴箱的松开和夹紧控制

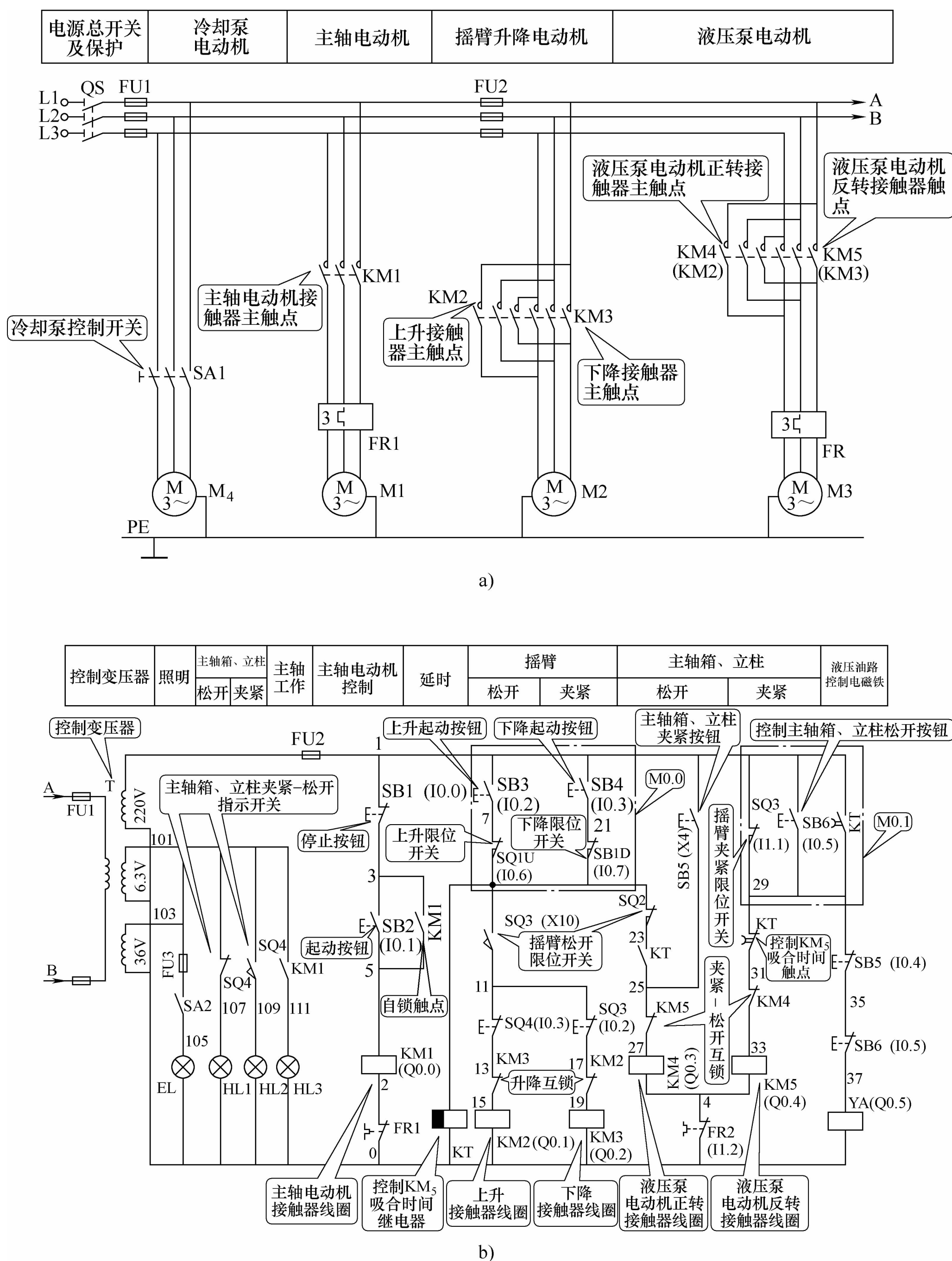


图 5-15　Z3040 摇臂钻床的电气控制电路

a）主电路　b）控制电路

按动松开按钮 SB5（或夹紧按钮 SB6），KM4（或 KM5）吸合、M3 起动、供给压力油，通过机械液压系统使立柱和主轴箱分别松开（或夹紧），指示灯亮。主轴箱、摇臂和内外立柱 3 部分的夹紧均由 M3 带动的液压泵提供压力油，通过各自的油缸使其松开和夹紧。

（4）冷却泵电动机 M4 的控制

冷却泵电动机 M4 由转换开关 SA1 控制。

5.4.3　Z3040 摇臂钻床的 PLC 控制系统分析

1. PLC 的 I/O 配置及 PLC 的 I/O 接线

PLC 的 I/O 配置表见表 5-3。

表 5-3　Z3040 摇臂钻床的 PLC I/O 配置

输入设备		PLC 输入继电器	输出设备		PLC 输出继电器
代号	功能		代号	功能	
SB1	主轴停止按钮	I0.0	KM1	主轴电动机接触器	Q0.0
SB2	主轴点动按钮	I0.1	KM2	摇臂上升接触器	Q0.1
SB3	摇臂上升按钮	I0.2	KM3	摇臂下降接阻器	Q0.2
SB4	摇臂下降按钮	I0.3	KM4	液压电动机正转接触器	Q0.3
SB5	主轴箱、立柱松开按钮	I0.4	KM5	液压电动机反转接触器	Q0.4
SB6	主轴箱、立柱夹紧按钮	I0.5	YA		Q0.5
SQ 1U	摇臂上升限位开关	I0.6			
SQ 1D	摇臂下降限位开关	I0.7			
SQ2	摇臂松开限位开关	I1.0			
SQ3		I1.1			
FR	热继电器	I1.2			

PLC 控制电路的主电路见图 5-15a，PLC 的 I/O 接线图如图 5-16 所示。

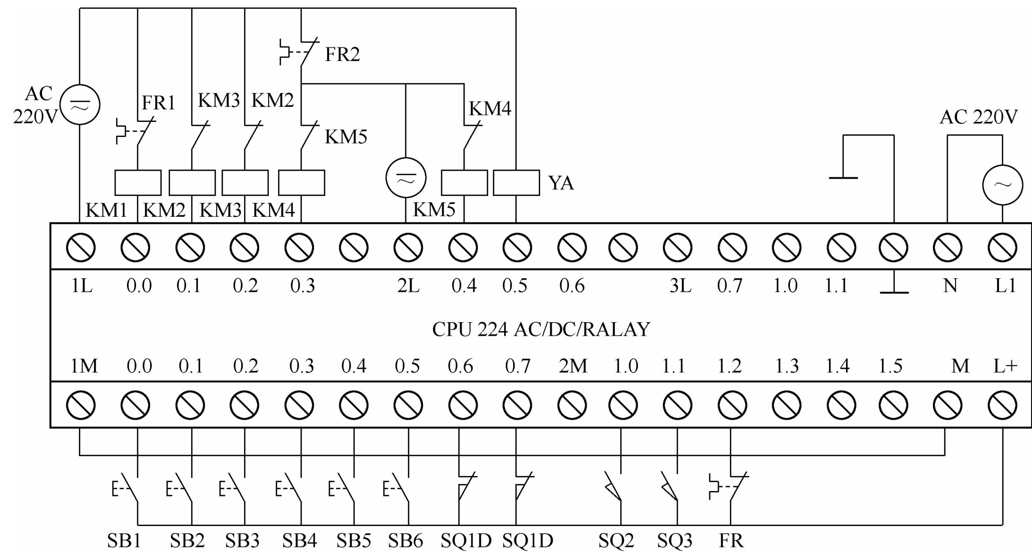


图 5-16　Z3040 摇臂钻床的 PLC I/O 接线图

2. Z3040 摇臂钻床 PLC 控制的梯形图程序

Z3040 摇臂钻床 PLC 控制的梯形图程序如图 5-17 所示。

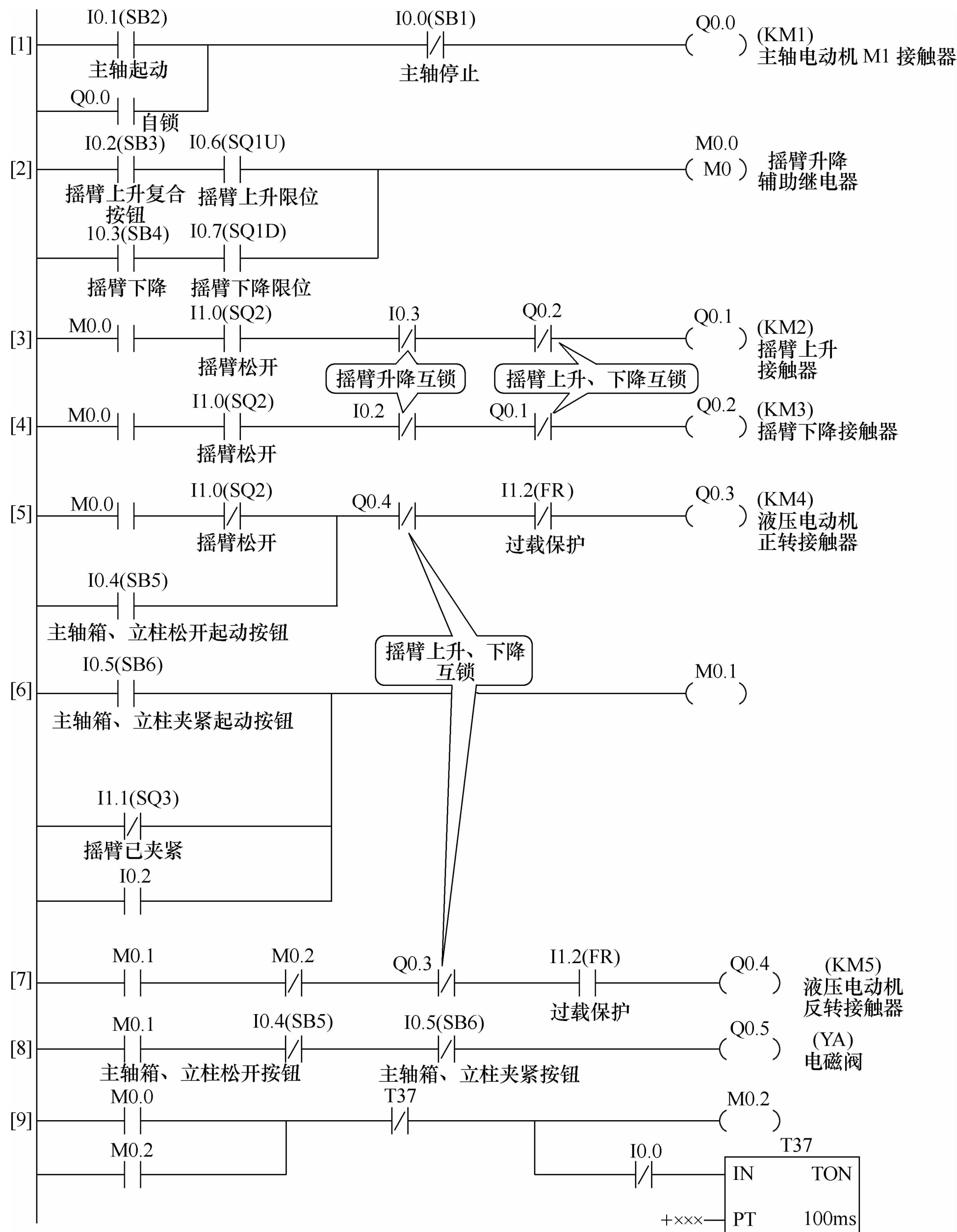


图 5-17　Z3040 摇臂钻床 PLC 控制的梯形图程序

3. 电路工作过程分析

(1) 主电动机 M1 的控制

按下起动按钮 SB2→输入继电器 I0. 1 得电→◎I0. 1 ［1］ 闭合→输出继电器 Q0. 0 ［1］ 得电闭合并自锁→KM1 得电吸合→主轴电动机 M1 起动运转。

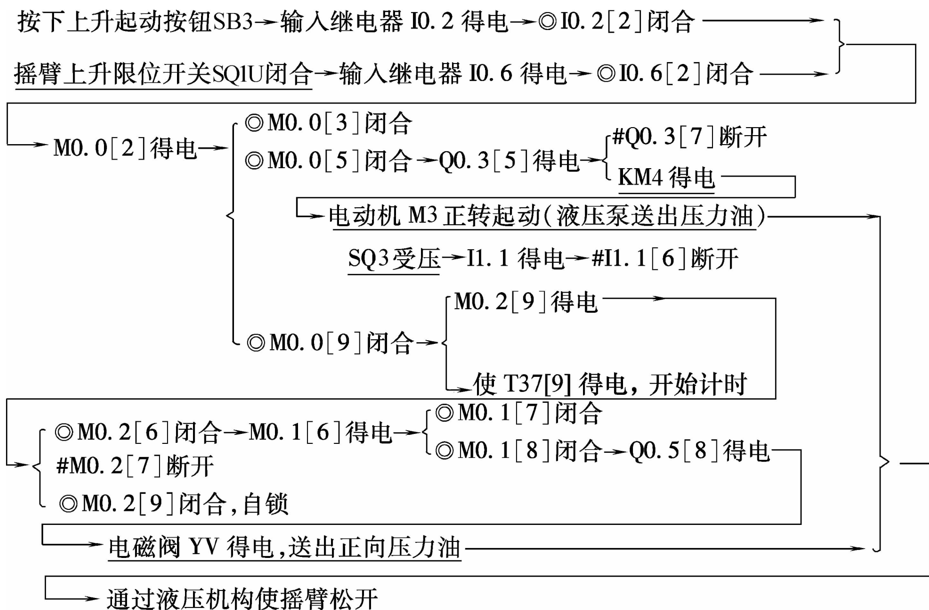
按下停止按钮 SB1→输入继电器 I0. 0 得电→#I0. 0 ［1］ 断开→Q0. 0 ［1］ 失电→KM1

失电释放→电动机 M 停转。

（2）摇臂的工作

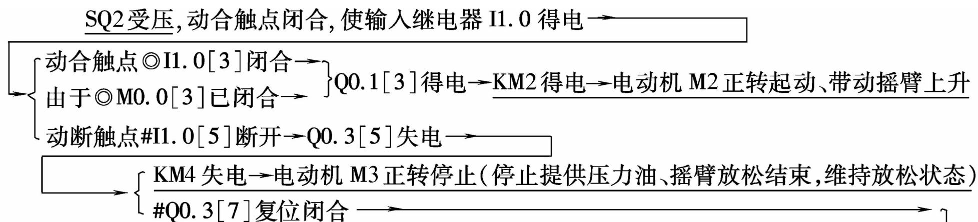
预备状态（摇臂钻床平常或加工工作时）：SQ3 受压→I1.1 得电→#I1.1［6］断开，SQ2 未受压→I1.0 未得电→◎I1.0［3］断开、#I1.0［5］闭合。

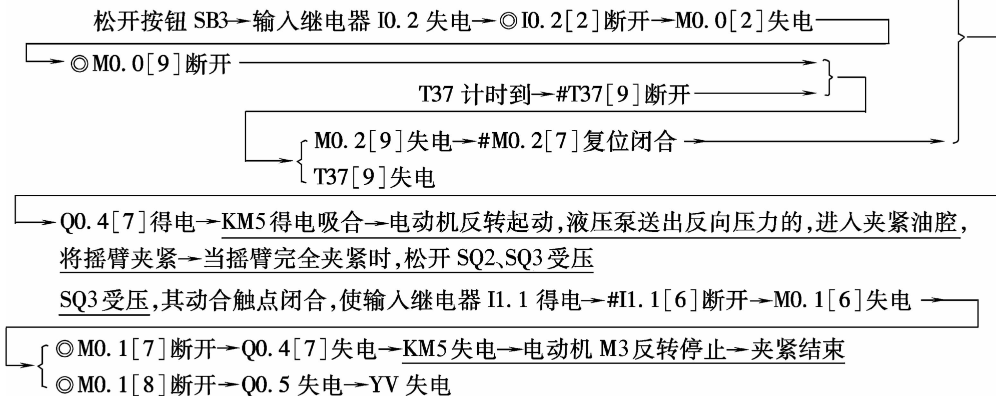
①摇臂松开：



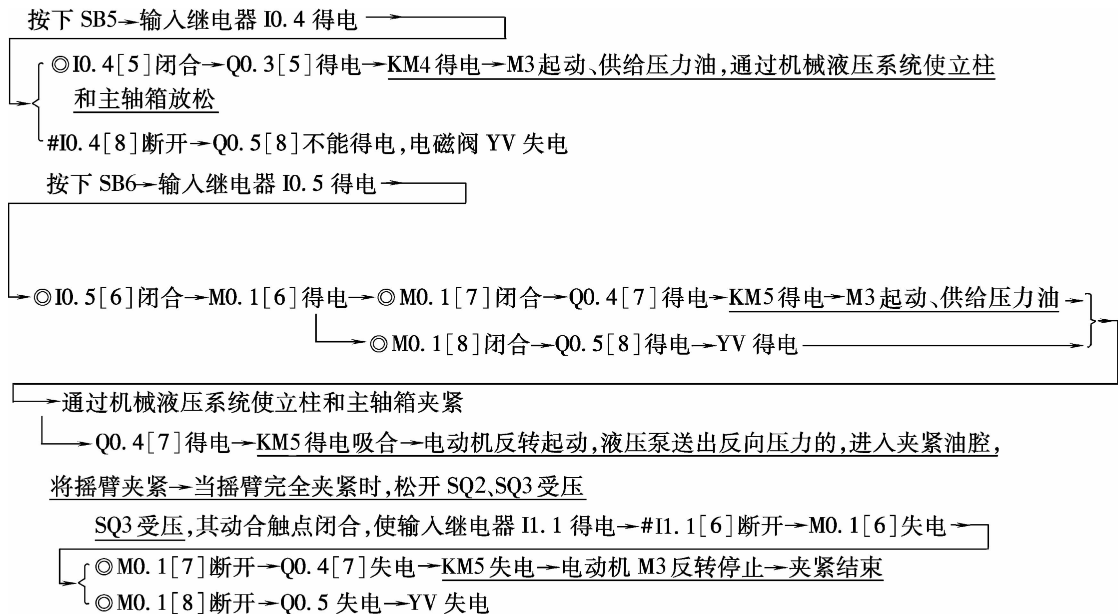
②摇臂上升：

当摇臂完全松开时，压下行程 SQ2，其动合触点（◎I1.0）［3］、［4］闭合，动断触点（#I1.0［5］断开。





（3）立柱和主轴箱的松开与夹紧控制



5.4.4　Z3040 摇臂钻床的常见电控故障分析

1）主轴电动机不能起动。故障的主要原因是：起动按钮 SB2 或停止按钮 SB8 损坏或接触不良；接触器 KM1 线圈断线、接线脱落、及主触点接触不良或接线脱落；热继电器 KR1 动作过；熔断器 FU 11的熔丝烧断；这些情况都可能引起主轴电动机不能起动，应逐项检查排除。

2）主轴电动机不能停止。主要是由于接触器 KM1 的主触点熔焊在一起造成的，断开电源后更换接触器 KM1 的主触点即可。

3）摇臂不能上升或下降。由摇臂上升或下降的动作过程可知，摇臂移动的前提是摇臂完全松开，此时活塞杆通过弹簧片压下行程开关 ST2，电动机 M3 停止运转，电动机 M2 起动运转，带动摇臂的上升或下降。若 ST2 的安装位置不当或发生偏移，这样摇臂虽然完全松开，但活塞杆仍压不上行程开关 ST2，致使摇臂不能移动；有时电动机 M1 的电源相序接反，此时按下摇臂上升或摇臂下降按钮 SB1、SB4，电动机 M3 反转，使摇臂夹紧，更压不上行程开关 ST2 了，摇臂也不能上升或下降。有时也会出现因液压系统发生故障，使摇臂没有充全松开，活塞杆压不上行程开关 ST2。如果 ST2 在摇臂松开后已动作，而不能上升或下降，则有可能是以下原因引起的：按钮 SB3、SB4 的常闭接点损坏或接线脱落；接触器 KM2、KM3 线圈损坏或接线脱落；KM2、KM3 的触点损坏或接线脱落；应根据具体情况逐项检查，直到故障排除。

4）摇臂移动后夹不紧。主要原因是因为行程开关 ST3 安装位置不当或松动移动，过早地被活塞杆压下动作，使液压泵电动机 M3 在摇臂尚未充分夹紧时就停止运转。

5）液压泵电动机不能起动。主要原因可能是：熔断器 FU2 的熔丝已烧断；热继电器 KR2 动作过；接触器 KM4、KM5 线圈损坏或接线脱落、及主触点接触不良或接线脱落；时

间继电器 KT 的线圈损坏或接线脱落；及其相关的接点损坏或接线脱落；应根据具体情况逐项检查，直到故障排除。

6）液压系统不能正常工作。有时电气系统正常，而液压系统中的电磁阀芯卡住或油路堵塞，导致液压系统不能正常工作，也可能造成摇臂无法移动、主轴箱和立柱不能松开和夹紧。

5.5　M7130 平面磨床的电气与 PLC 电路图分析

磨床是用砂轮的端面或周边对工件的表面进行磨削加工的精密机床。通过磨削，使工件表面的形状、精度和光洁度等达到预期的要求。磨床的种类很多，按其工作性质可分为平面磨床、外圆磨床、内圆磨床、工具磨床、以及一些专用磨床，如螺纹磨床、齿轮磨床、球面磨床、花键磨床、导轨磨床与无心磨床等，其中尤以平面磨床应用最为广泛。平面磨床根据工作台的形状和砂轮轴与工作台的关系又可分为卧轴矩台平面磨床、立轴矩台平面磨床、卧轴圆台平面磨床、立轴圆台平面磨床等。本节将以 M7130 卧轴矩台平面磨床为例，对它的电气控制电路进行分析。

5.5.1　M7130 平面磨床的结构组成和主要运动

1. M7130 平面磨床的结构组成

M7130 型平面磨床是卧轴矩形工作台式，其结构组成如图 5-18 所示，主要有床身、工作台、电磁吸盘、砂轮箱（又称磨头）、滑座、立柱、工作台换向撞块、往返运动换向手柄、活塞杆、砂轮箱垂直进刀手轮等部分组成。

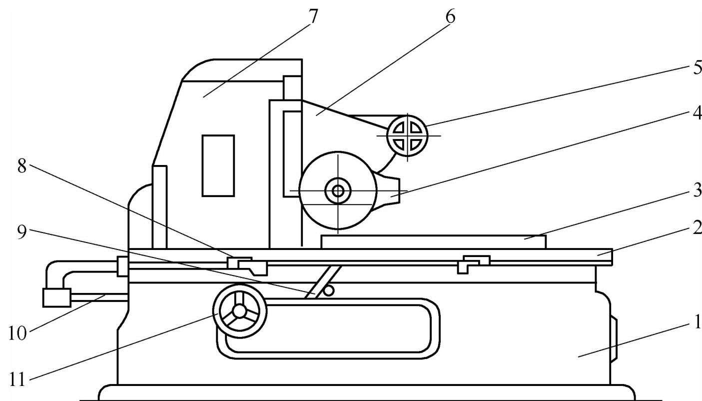


图 5-18　M7130 型卧轴矩台平面磨床外形图

1—床身　2—工作台　3—电磁吸盘　4—砂轮箱　5—砂轮箱横向移动手轮　6—滑座　7—立柱
8—工作台换向撞块　9—工作台往返运动换向手柄　10—活塞杆　11—砂轮箱垂直进刀手轮

2. M7130 平面磨床的主要运动

如图 5-18 所示，在箱形床身中装有液压传动装置，工作台通过活塞杆由油压推动作往复运动，床身导轨有自动润滑装置进行润滑。工作台表面有 T 形槽，用以固定电磁吸盘，再由电磁吸盘来吸持被加工工件。工作台的行程长度可通过调节装在工作台正面槽中的撞块

位置来改变；且通过换向撞块碰撞工作台往复运动换向手柄以改变油路来实现工作台的往复运动。

在床身上固定有立柱，沿立柱的导轨上装有滑座，砂轮箱能沿其水平导轨移动。砂轮轴由装入式电动机直接拖动。在滑座内部往往也装有液压传动机构。

滑座可在立柱导轨上做上下移动，并可由垂直进刀手轮操作。砂轮箱的水平轴向移动可由横向移动手轮操作，也可由液压传动做连续或间接移动，前者用于调节运动或修整砂轮，后者用于进给。

矩形工作台平面磨床工作图如图 5-19 所示，砂轮的旋转运动是主运动。进给运动有垂直进给，即滑座在立柱导轨上的上下运动；横向进给，即砂轮箱在滑座上的水平运动；纵向进给，即工作台沿床身的往复运动。工作台每完成一次往复运动时，砂轮箱作一次间断性的横向进给；当加工完整个平面时，砂轮箱作一次间断性的垂直进给。辅助运动有工作台及砂轮架的快速移动等。

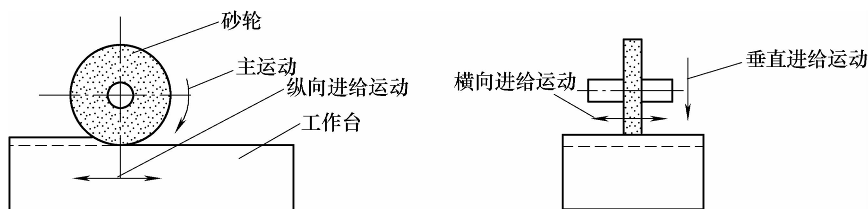


图 5-19　矩形工作台平面磨床工作图

总之，磨床作为机床加工的主要磨削工具，其主要的运动形式可归纳为：

1） 主运动。砂轮的旋转运动。

2） 进给运动。进给运动包括有：

①垂直进给，滑座在立柱上的上下运动；

②横向进给，砂轮箱在滑座上的水平运动；

③纵向进给，工作台沿床身的往复运动。

3） 辅助运动。工作台及砂轮架的快速移动。

5. 5. 2　M7130 平面磨床的电气控制电路

M7130 平面磨床的“继电器-接触器”电气控制电路如图 5-20 所示。

M7130 平面磨床对“继电器-接触器”电动机拖动有以下几项控制要求：

①砂轮电动机 M1：要求单方向旋转，无调速要求。

②液压泵电动机 M2：为了保证加工精度，减小往复运动产生的惯性冲击，采用液压传动。

③冷却泵电动机 M3：为了减少磨削加工时工件的热变形，需采用冷却液冷却；冷却泵电动机与砂轮电动机具有顺序联锁关系，即只有起动砂轮电动机后，才能开动冷却泵电动机。

上述三台电动机只需单方向旋转，都没有调速要求，因此全部选用笼型异步电动机，采用全压起动。

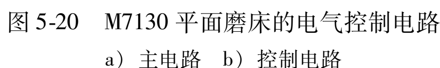


图 5-20　M7130 平面磨床的电气控制电路
a）主电路　b）控制电路

5.5.3　M7130 平面磨床的 PLC 控制系统分析

当磨床采用 PLC 控制时，控制程序可用经验法进行设计；该控制系统的梯形图程序可以通过继电器控制电路转化得到。磨床在加工时使用电磁吸盘固定工件，为了防止电磁吸盘吸力不足造成事故或影响工件的加工质量，在电磁吸盘电路中安装了欠电流继电器，进行失磁保护；同时为了能够加工非导磁材料的工件和设备调试，使用转换开关进行工作方式的选择。

1. 输入/输出电器与 PLC 的 I/O 配置

根据控制要求可知，需要输入的信号有 8 个；需要输出的信号有 2 个；全部为开关量。按照输入/输出信号的类型和数量，PLC 选用 CPU222AC/DC/继电器（AC100～230V 电源/DC24V 输入/继电器输出）。

输入/输出电器与 PLC 的 I/O 配置如表 5-4 所示。

表 5-4　输入/输出电器与 PLC 的 I/O 配置

输入设备		PLC 输入继电器	输出设备		PLC 输出继电器
符号	功能		符号	功能	
SB1	M1 起动按钮	I0.0	KM1	M1 接触器	Q0.0
SB2	M1 停止按钮	I0.1	KM2	M2 接触器	Q0.1
SB3	M2 起动按钮	I0.2			
SB4	M3 停止按钮	I0.3			
SA1	工作方式选择开关	I0.4			
KA	欠流继电器	I0.5			
FR1	M1 热继电器	I0.6			
FR2	M2 热继电器	I0.7			

2. PLC 的 I/O 接线

PLC 控制电路的主电路如图 5-20 所示，M7130 平面磨床的 PLC 的 I/O 接线，如图 5-21 所示。输入信号使用 PLC 提供的内部 DC24V 电源；负载使用的外部电源为 AC220V；PLC 的电源为 AC220V。

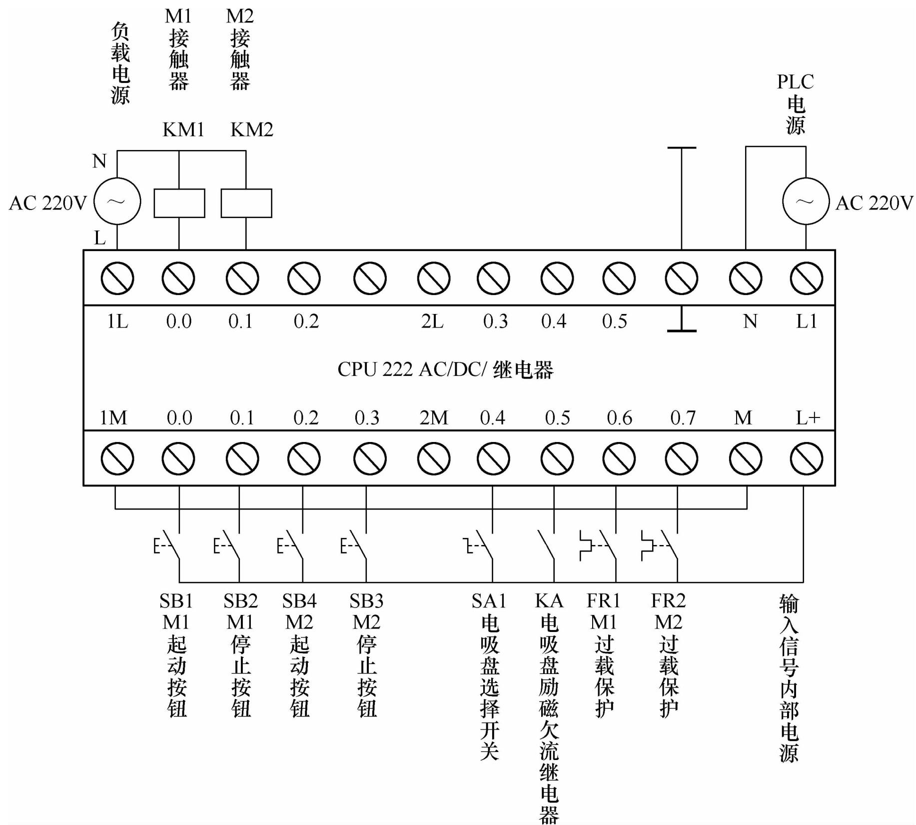


图 5-21　M7130 平面磨床的 PLC 的 I/O 接线

3. PLC 控制的梯形图程序

PLC 控制的梯形图程序如图 5-22 所示。

4. 电路工作过程分析

（1）砂轮电动机 M1 的控制

1）起动

按下起动按钮 SB1 → 输入继电器 I0. 0 得电 → 动合触点 ◎I0. 0 闭合 → 输出继电器 Q0. 0 得电

→ { KM1 得电吸合 → 电动机 M1 全压起动并运行
动合触点 ◎Q0. 0 闭合，自锁 }

2）停止

按下停止按钮 SB2 → 输入继电器 I0. 1 得电 → 动断触点 #I0. 1 断开 → 输出继电器 Q0. 0 失电

→ { KM1 断电释放 → 电动机 M1 断开电源、电动机停止
动合触点 ◎Q0. 0 断开，取消自锁 }

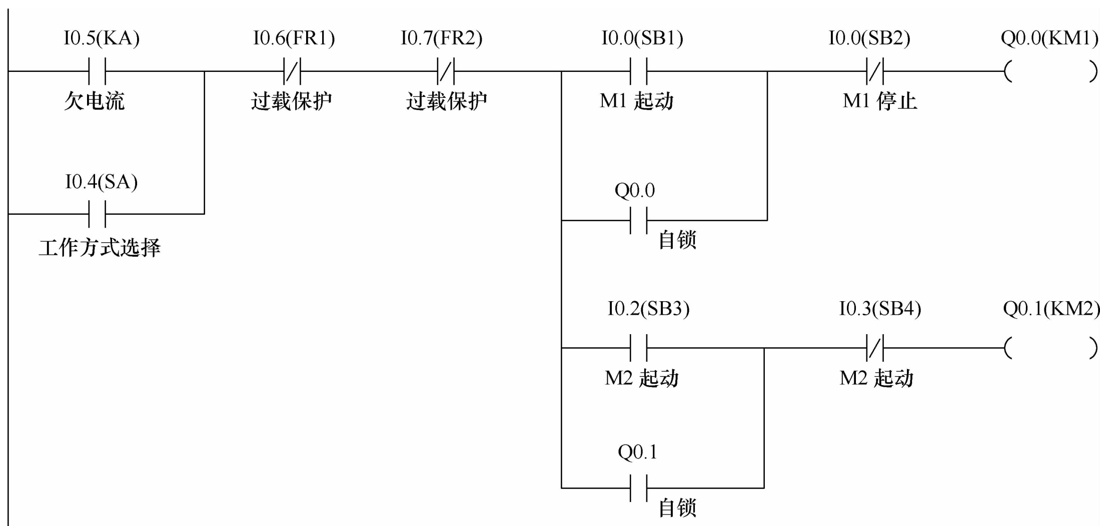


图 5-22　PLC 控制的梯形图程序

（2）液压泵电动机 M2 的控制

1）起动

按下起动按钮 SB3 → 输入继电器 I0. 2 得电 → 动合触点 ◎I0. 2 闭合 → 输出继电器 Q0. 1 得电
→ { KM2 得电吸合 → 电动机 M2 全压起动并运行；动合触点 ◎Q0. 1 闭合，自锁 }

2）停止

按下停止按钮 SB4 → 输入继电器 I0. 3 得电 → 动断触点 #I0. 3 断开 → 输出继电器 Q0. 1 失电
→ { KM2 断电释放 → 电动机 M2 断开三相电源，电动机停止；动合触点 ◎Q0. 1 断开，取消自锁 }

（3）冷却泵电动机 M3 及电磁吸盘的控制

冷却泵电动机采用插拔插头，手动控制；电磁吸盘也是通过插拔插头，手动控制。

为了确保使用电磁吸盘时能够可靠吸持工件，在电磁吸盘电路中串联了欠电流继电器 KA，当电磁吸盘吸力不足时，KA 释放，使磨床停止工作；当不使用电磁吸盘进行加工或机床调试时，可将转换开关 SA 置于去磁位置，则磨床电路仍能正常工作。

（4）过载保护

热继电器 FR1、FR2 分别对电动机 M1 和 M2 进行保护；对冷却泵电动机 M3 没有设置单独的过载保护。

当发生过载或断相时：①热继电器 FR1 或 FR2 动作→②FR1 或 FR2 动合触点闭合→③输入继电器 I0. 6 或 I0. 7 得电→④动断触点#I0. 6 或#I0. 7 断开→⑤输出继电器 Q0. 0 和 Q0. 1 失电→⑥KM1 和 KM2 线圈失电释放→⑦电动机 M1、M2 停止运转。

5.6　组合机床的电气与 PLC 控制电路分析

前面主要介绍的几种通用机床，在加工中其工序只能一道一道地进行，不能实现多道、多面同时加工。其生产效率低，加工质量不稳定，操作频繁。为了改善生产条件，满足生产发展的专业化、自动化要求，人们经过长期生产实践的不断探索、不断改进、不断创造，逐步形成了各类专用机床，专用机床是为完成工件某一道工序的加工而设计制造的，可采用多刀加工，多刀加工具有自动化程度高、生产效率高、加工精度稳定、机床结构简单、操作方便等优点。但当零件结构与尺寸改变时，须重新调整机床或重新设计、制造，因而专用机床又不利于产品的更新换代。

为了克服专用机床的不足，在生产中又发展了一种新型的加工机床。它以通用部件为基础，配合少量的专用部件组合而成，具有结构简单、生产效率和自动化程度高等特点。一旦被加工零件的结构与尺寸改变时，能较快地进行重新调整，组合成新的机床。这一特点有利于产品的不断更新换代，目前在许多行业得到广泛的应用。这就是下面要介绍的组合机床。

5.6.1　组合机床的组成结构和工作特点

1. 组合机床的组成结构

组合机床是由一些通用部件及少量专用部件组成的高效自动化或半自动化专用机床。可以完成钻孔、扩孔、铰孔、镗孔、攻丝、车削、铣削及精加工等多道工序，一般采用多轴、多刀、多工序、多面、多工位同时加工，适用于大批量生产，能稳定地保证产品的质量。图 5-23 所示为单工位三面复合式组合机床结构示意图。它由底座、立柱、滑台、切削头、动力箱等通用部件，多轴箱、夹具等专用部件以及控制、冷却、排屑、润滑等辅助部件组成。

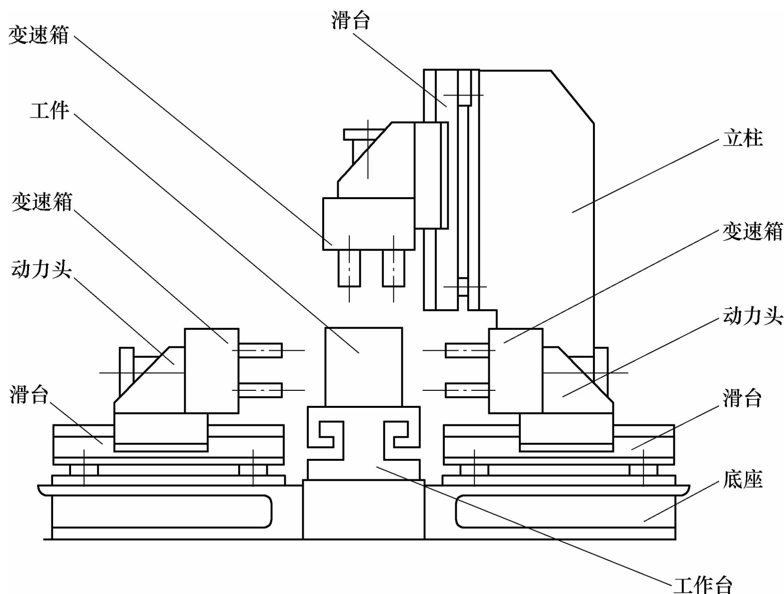


图 5-23　单工位三面复合式组合机床结构示意图

通用部件是经过系列设计、试验和长期生产实践考验的，其结构稳定、工作可靠，由专业生产厂成批制造，经济效果好、使用维修方便。一旦被加工零件的结构与尺寸改变时，这些通用部件可根据需要组合成新的机床。在组合机床中，通用部件一般占机床零部件总量的 70% ~80%；其他 20% ~30% 的专用部件由被加工件的形状、轮廓尺寸、工艺和工序决定。

组合机床的通用部件主要包括以下几种：

（1）动力部件

动力部件用来实现主运动或进给运动，有动力头、动力箱、各种切削头。

（2）支承部件

支承部件主要为各种底座，用于支承、安装组合机床的其他零部件，它是约合机床的基础部件。

（3）输送部件

输送部件用于多工位组合机床，用来完成工件的工位转换，有直线移动工作台、回转工作台、回转鼓轮工作台等。

（4）控制部件

用于组合机床完成预定的工作循环程序。它包括液压元件、控制挡铁、操纵板、按钮盒及电气控制部分。

（5）辅助部件

辅助部件包括冷却、排屑、润滑等装置，以及机械手、定位、夹紧、导向等部件。

2. 组合机床的工作特点

组合机床主要由通用部件装配组成，各种通用部件的结构虽有差异，但它们在组合机床中的工作却是协调的，能发挥较好的效果。

组合机床通常是从几个方向对工件进行加工，它的加工工序集中，要求各个部件的动作顺序、速度、起动、停止、正向、反向、前进、后退等均应协调配合，并按一定的程序自动或半自动地进行。加工时应注意各部件之间的相互位置，精心调整每个环节，避免大批量加工生产中造成严重的经济损失。

5.6.2　深孔钻组合机床的 PLC 控制系统分析

1. 深孔钻组合机床的控制要求

深孔钻组合机床进行深孔钻削时，为利于钻头排屑和冷却，需要周期性地从工作中退出钻头，刀具进退与行程开关的示意图如图 5-24 所示，在起始位置 0 点时。行程开关 SQ1 被压合，按下起动按钮 SB2，电动机正转起动，刀具前进。退刀由行程开关控制，当动力头依次压在 SQ3、SQ4、SQ5 上时电动机反转，刀具会自动退刀，退刀到起始位置时，SQ1 被压合，退刀结束；接着刀具又自动进刀，直到三个工作过程全部完成时结束。

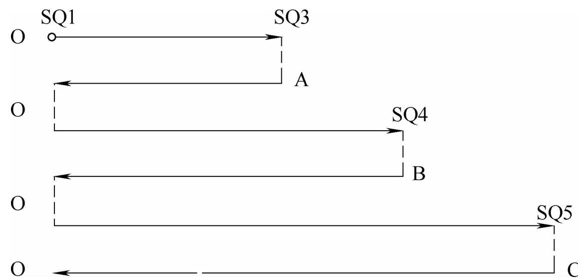


图 5-24　深孔钻削时刀具进退与行程开关的示意图

2. PLC 的 I/O 配置和 PLC 的 I/O 接线

PLC 的 I/O 配置见表 5-5；PLC 的 I/O 接线图如图 5-25 所示。

表 5-5　PLC 的 I/O 配置表

输入设备		PLC 输入继电器	输出设备		PLC 输出继电器
代　号	功　能		代　号	功　能	
SB1	停止按钮	I0.1	KM1	钻头前进接触器线圈	Q0.1
SB2	起动按钮	I0.2	KM2	钻头后退接触器线圈	Q0.2
SQ1	原始位置行程开关	I0.3			
SQ3	退刀行程开关	I0.4			
SQ4	退刀行程开关	I0.5			
SQ5	退刀行程开关	I0.6			
SB3	正向调整点动按钮	I0.7			
SB4	反向调整点动按钮	I0.0			

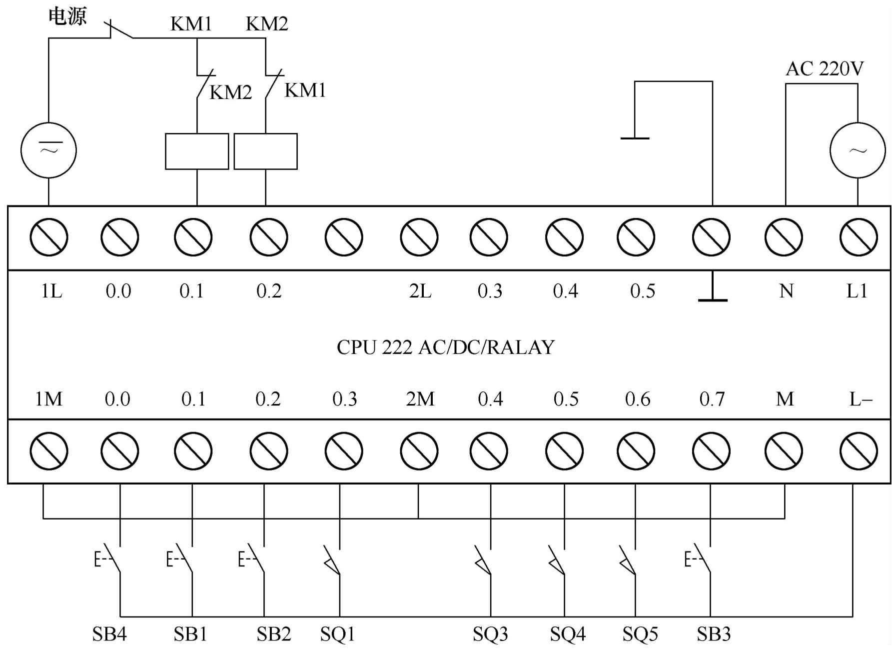


图 5-25　PLC 的 I/O 接线图

3. 深孔钻削顺序功能图和控制梯形图程序

深孔钻削的顺序功能图如图 5-26 所示，其控制梯形图程序如图 5-27 所示。

钻头进刀和退刀是通过电动机的正转和反转来实现的，电动机的正、反转切换是通过两个接触器 KM1（正转）和 KM2（反转）切换三相电源线中的任意两相来实现的。为防止由于电源换相所引起的短路事故，软件上采用了换相延时措施。梯形图中的 T33、T44 的延时时间通常设定为 0.1 ~0.5s。同时在硬件电路上也采取了互锁措施。PLC 的 I/O 接线图中的

FR 用于过载保护。点动调整时应注意：若在系统起动后再进行调整，需先按下停止按钮（即使工件加工完毕停在原位）。

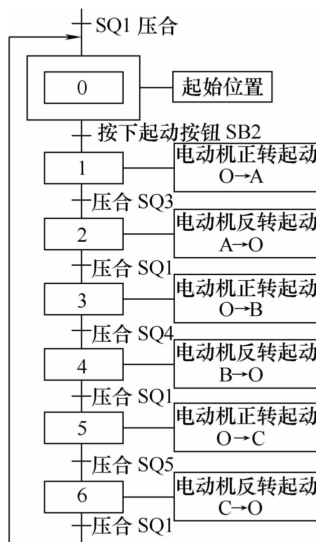


图 5-26　顺序功能图

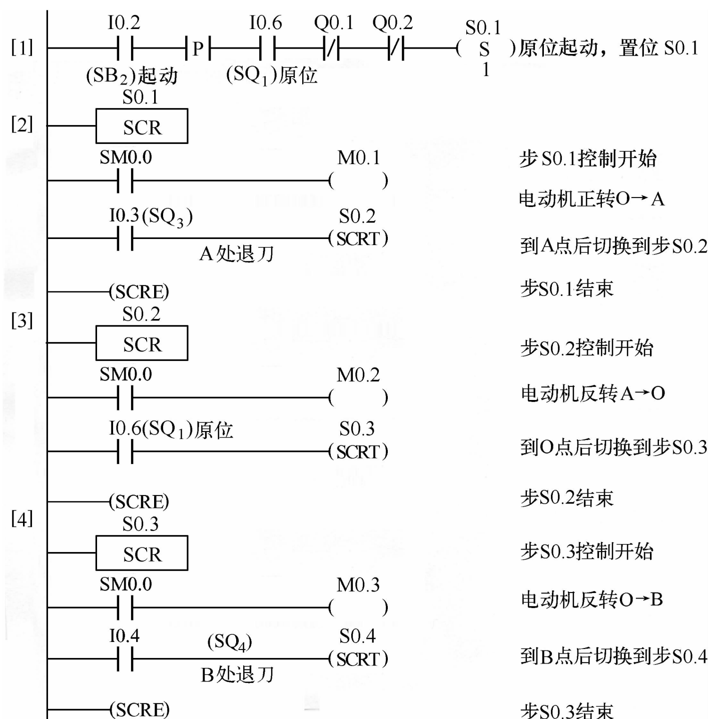


图 5-27　控制梯形图程序

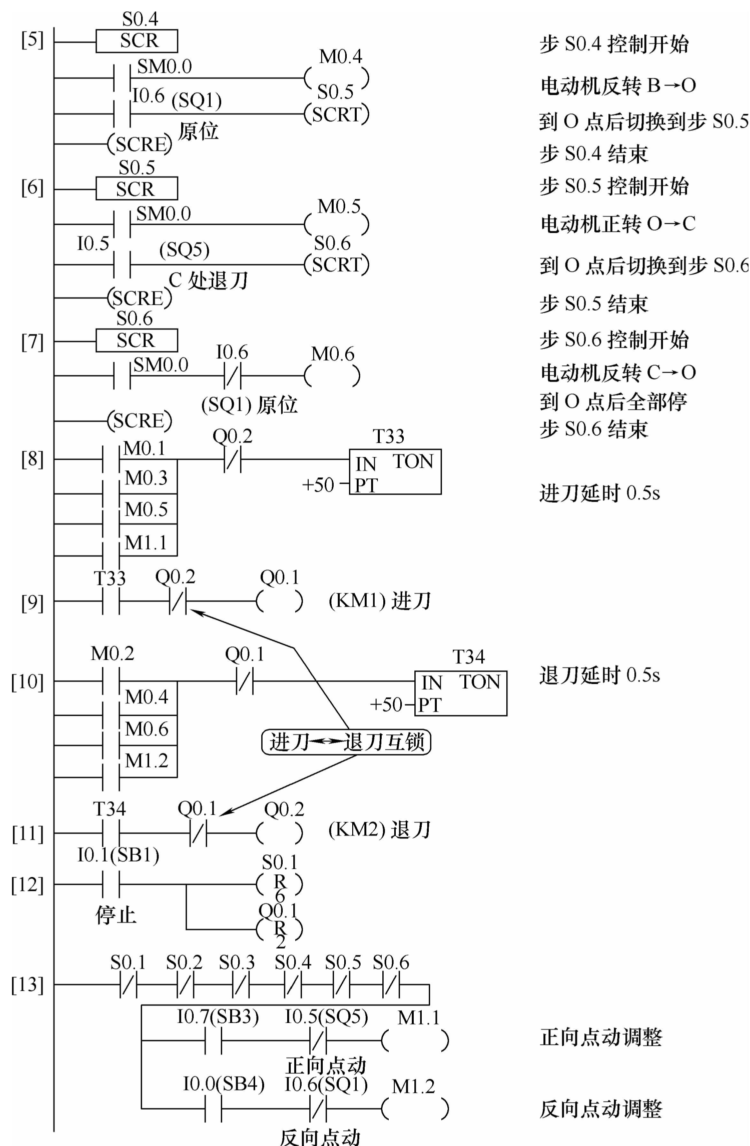


图 5-27　控制梯形图程序（续）

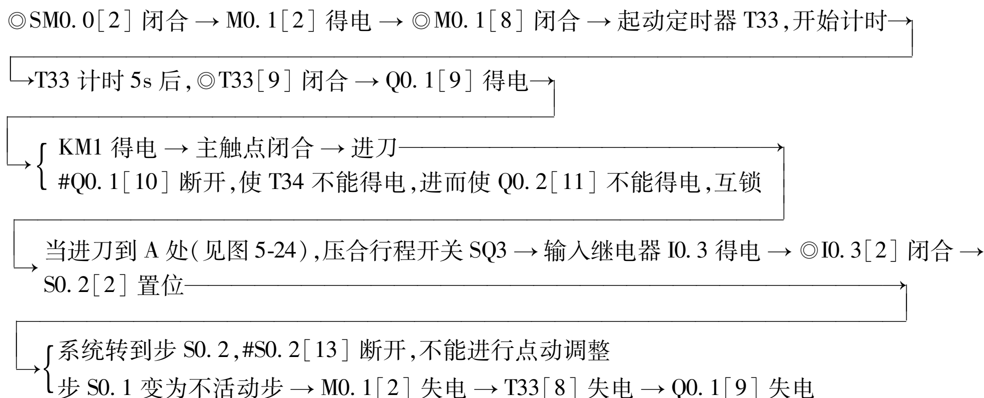
4. 电路工作过程分析

（1）运行

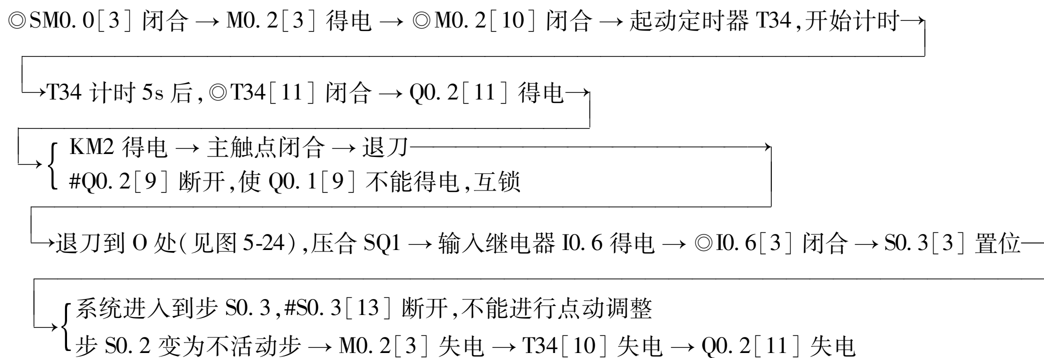
按下起动按钮 SB2 → 输入继电器 I0. 2 得电 → ◎I0. 2[1] 得电——→ }
原始位置行程开关 SQ1 闭合 → 输入继电器 I0. 6 得电 → ◎I0. 6[1] 闭合——→ }

→◎I0. 2[1] 的上升沿使 S0. 1[1] 置位并保持，系统进入步 S0. 1，#S0. 1[13] 断开、不能进行点动调整

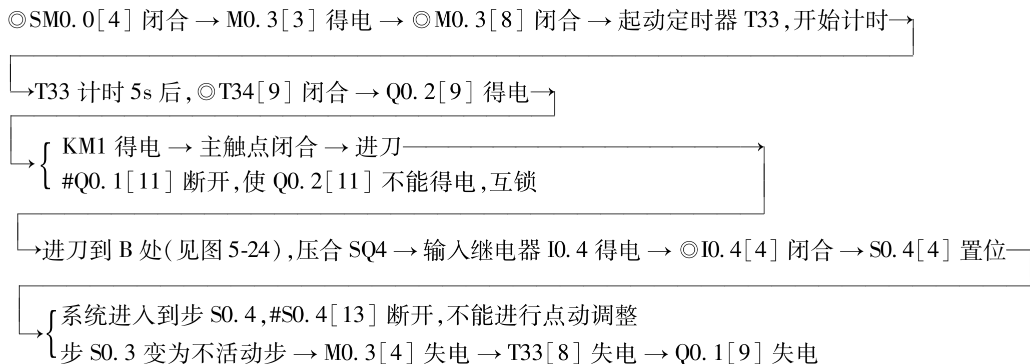
1）步 S0.1：



2）步 S0.2：



3）步 S0.3：



4）步 S0.4：退刀，与步 S0.2 的工作过程相同。

5）步 S0.5：进刀，与步 S0.3 的工作过程相同。

6）步 S0.6：



（3）点动调整

1）正向点动调整

按下正向点动调整按钮 SB3 → 输入继电器 I0.7 得电 → ◎I0.7[13] 闭合 → M1.1[13] 得电 → ◎M1.1[8] 闭合 → 起动 T33[8]，开始计时 → T33 计时时间到，◎T33[9] 闭合 → Q0.1[9] 得电 → 开始进刀调整，进刀调整到 C 处，SQ5 闭合 → 输入继电器 I0.5 得电 → #I0.5[13] 断开 → M1.1[13] 失电 → ◎M1.1[8] 断开 → T33[8] 失电 → ◎T33[9] 断开 → Q0.1[9] 失电，进刀停止

2）反向点动调整

按下正向点动调整按钮 SB4 → 输入继电器 I0.0 得电 → ◎I0.0[13] 闭合 → M1.2[13] 得电 → ◎M1.2[10] 闭合 → 起动 T34[10]，开始计时 → T34 计时时间到，◎T34[11] 闭合 → Q0.2[11] 得电 → 开始退刀调整，退刀调整到 O 处，SQ1 闭合 → 输入继电器 I0.6 得电 → #I0.6[13] 断开 → M1.2[13] 失电 → ◎M1.2[10] 断开 → T34[10] 失电 → Q0.2[11] 失电，退刀停止

5.6.3 双头钻床的 PLC 控制系统分析

1. 双头钻床的控制要求

待加工工件放在加工位置后，操作人员按下起动按钮 SB，两个钻头同时开始工作。首先将工件夹紧，然后两个钻头同时向下运动，对工件进行钻孔加工，达到各自的加工深度后，分别返回原始位置，待两个钻头全部回到原始位置后，释放工件，完成一个加工过程。

钻头的上限位置固定，下限位置可调整，由 4 个限位开关 SQ1 ~ SQ4 给出这些位置的信号。工件的夹紧与释放由电磁阀 YV 控制，夹紧信号来自压力继电器 KP。

两个钻头同时开始动作，但由于各自的加工深度不同，所以停止和返回的时间不同。对于初始的起动条件可以视为一致，即夹紧压力信号到达，两个钻头在原始位置和起动传号到来，则具备加工的基本条件。由于加工深度不同，需要设置对应的下限位开关，分别控制两个钻头的返回。

2. 双头钻床控制 PLC 的 I/O 配置和 PLC 的 I/O 接线

PLC 的 I/O 配置见表 5-6，其 I/O 接线图如图 5-28 所示。

表 5-6 双头钻床控制 PLC 的 I/O 配置

输入设备		PLC 输入继电器	输出设备		PLC 输出继电器
符号	功能		符号	功能	
SQ1	1#钻头上限位开关	I0.0	KM1	1#钻头上升控制	Q0.0
SQ2	1#钻头下限位开关	I0.1	KM2	1#钻头下降控制	Q0.1
SQ3	2#钻头上限位开关	I0.2	KM3	2#钻头上升控制	Q0.2
SQ4	2#钻头下限位开关	I0.3	KM4	2#钻头下降控制	Q0.3
KP	压力继电器信号	I0.4		夹紧控制(YV)	Q0.4
SB	起动按钮	I0.5			

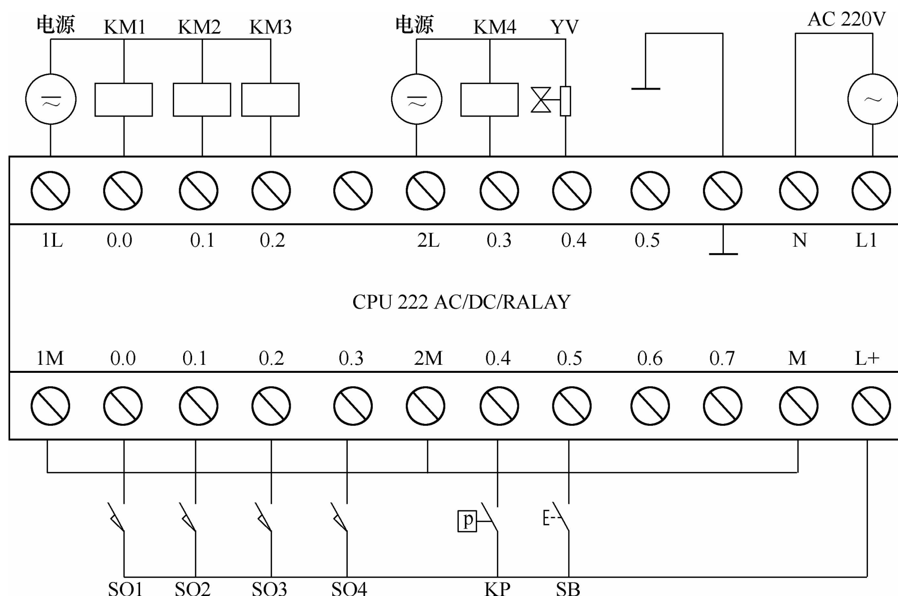


图 5-28　双头钻床控制 PLC 的 I/O 接线图

3. 深孔钻削控制的梯形图程序

深孔钻削控制的梯形图程序如图 5-29 所示。

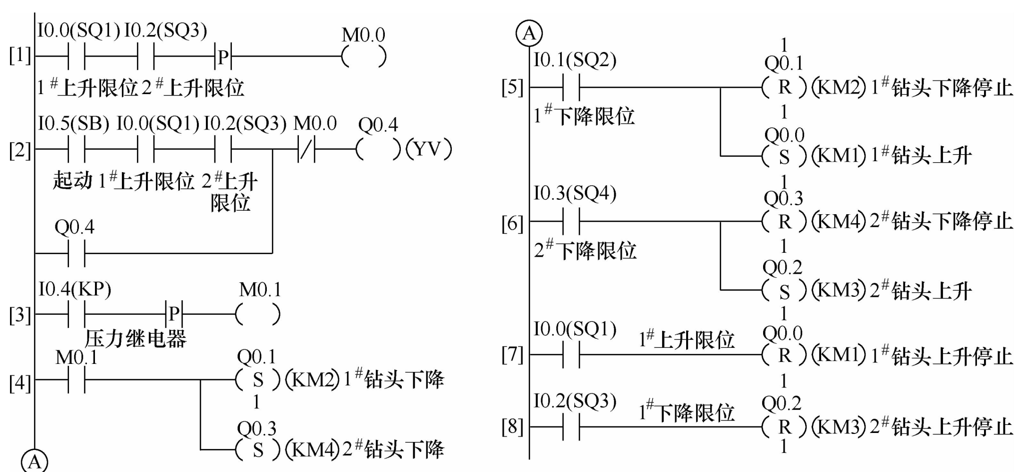
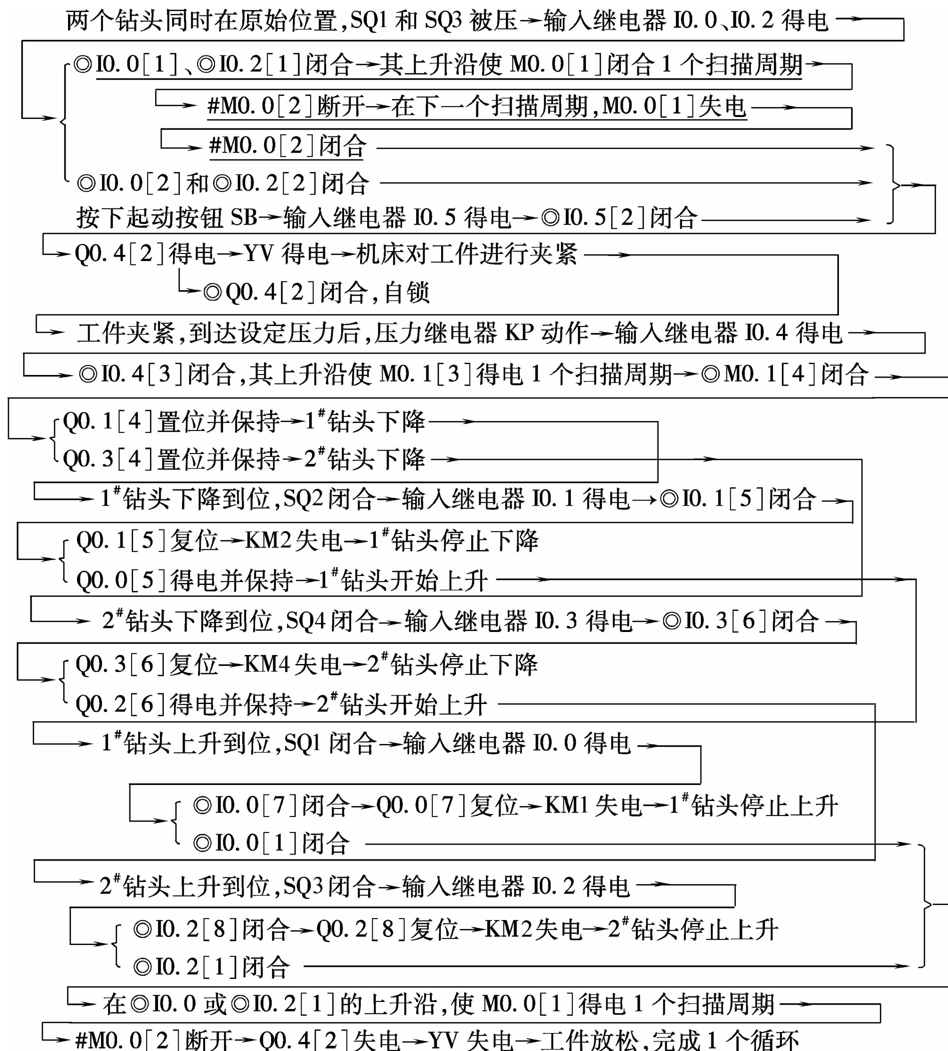


图 5-29　深孔钻削控制的梯形图程序

4. 电路工作过程分析



分析过程中应注意梯形图与“继电器-接触器”电路图的区别。梯形图是一种软件，是 PLC 图形化的程序，PLC 梯形图是不断循环扫描串行工作的，而在“继电器－接触器”电路图中，各电器可以同时动作并行工作。

5.7　PLC 在数控机床中的工程应用分析

5.7.1　数控机床中 PLC 的主要功能

数控机床中的 PLC 主要是用来代替传统机床中继电器逻辑控制，利用 PLC 的逻辑运算功能实现各种开关量的控制。应用形式主要有独立型和内装型两种。独立型 PLC 又称通用型 PLC，它不属于 CNC 装置，可以独立使用，具有完备的硬件和软件结构；内装型 PLC 从属于 CNC 装置，PLC 与 NC 之间的信号传送在 CNC 装置内部实现。PLC 与机床间则通过

CNC 输入/输出接口电路实现信号传输。数控机床中的 PLC 多采用内装式，它已成为 CNC 装置的一个部件。数控机床中的 PLC 主要实现 S、T、M 等辅助功能。

主轴转速 S 功能用 S00 两位代码或 S00004 位代码指定。如用 4 位代码，则可用主轴速度直接指定；如用两位代码，应首先制定两位代码与主轴转速的对应表，通过 PLC 处理可以比较容易地用 S00 两位代码指定主轴转速。如 CNC 装置送出 S 代码（如两位代码）进入 PLC，经过电平转换（独立型 PLC）、译码、数据转换、限位控制和 D/A 变换，最后输出给主轴电动机伺服系统。其中，限位控制是：当 S 代码对应的转速大于规定的最高转速时，限定在最高转速；当 S 代码对应的转速小于规定的最低速度时，限定在最低转速。为了提高主轴转速的稳定性，增大转矩，调整转速范围，还可增加 1 ~ 2 级机械变速档。通过 PLC 的 M 代码功能实现。

刀具功能 T 由 PLC 实现，对加工中心自动换刀的管理带来了很大的方便。自动换刀控制方式有固定存取换刀方式和随机存取换刀方式，它们分别采用刀套编码制和刀具编码制。对于刀套编码的 T 功能处理过程是：CNC 装置送出 T 代码指令给 PLC，PLC 经过译码，在数据表内检索，找到 T 代码指定的新刀号所在的数据表的表地址，并与现行刀号进行判别、比较；如不符合，则将刀库回转指令发送给刀库控制系统，直至刀库定位到新刀号位置时，刀库停止回转，并准备换刀。

PLC 完成的 M 功能是很广泛的。根据不同的 M 代码，可控制主轴的正反转及停止；主轴齿轮箱的变速；冷却液的开、关；卡盘的夹紧和松开；以及自动换刀装置机械手取刀、归刀等运动。

PLC 给 CNC 的信号，主要有机床各坐标基准点信号，S、T、M 功能的应答信号等。PLC 向机床传递的信号，主要是控制机床执行件的执行信号，如电磁铁、接触器、继电器的动作信号以及确保机床各运动部件状态的信号及故障指示。

5.7.2 PLC 与机床之间的信号处理过程

在信息传递过程中，PLC 处于 CNC 装置和机床之间。CNC 装置和机床之间的信号传送处理包括 CNC 装置向机床传送和机床向 CNC 装置传送两个过程。

1. CNC 装置向机床传送信号

CNC 装置向机床传送信号的处理如下：

1）CNC 装置控制程序将输出数据写到 CNC 装置的 RAM 中。

2）CNC 装置的 RAM 数据传送到 PLC 的 RAM 中。

3）由 PLC 的软件进行逻辑运算处理。

4）处理后的数据仍在 PLC 的 RAM 中。对内装型 PLC，存在 PLC 存储器 RAM 中已处理好的数据再回传到 CNC 装置的 RAM 中，通过 CNC 装置的输出接口送至机床；对独立型 PLC 上，其 RAM 中已处理好的数据通过 PLC 的输出接口送至机床。

2. 机床向 CNC 装置传送信号

（1）对于内装型 PLC，信号传送处理如下：

1）从机床输入开关量数据，送到 CNC 装置的 RAM。

2）从 CNC 装置的 RAM 传送给 PLC 的 RAM。

3）PLC 的软件进行逻辑运算处理。

4）处理后的数据仍在PLC的RAM中，并被传送到CNC装置的RAM中。

5）CNC装置软件读取RAM中数据。

（2）对于独立型PLC，输入的第1）步是数据通过PLC的输入接口送到PLC的RAM中，然后进行上述的第3）步，以下均相同。

5.7.3　数控机床中的PLC控制程序

1. 编制PLC控制程序的步骤

数控机床中PLC的程序编制是指控制程序的编制。在编制程序时，主要根据被控制对象的控制流程的要求和PLC的型号及配置等条件编制控制程序，编制PLC控制程序的步骤如下：

（1）编制CNC装置I/O接口文件

CNC装置I/O的主要接口文件有I/O地址分配表和PLC所需数据表。这些文件是设计梯形图程序的基础资料之一。梯形图所用到的数控机床内部和外部信号、信号地址、名称、传输方向，与功能指令等有关的设定数据，与信号有关的电气元件等均反映在I/O接口文件中。

（2）编制数控机床的梯形图程序

用前面介绍的PLC程序设计方法编制数控机床的梯形图程序。若控制系统比较复杂，可采用“化整为零”的方法，等待每一个控制功能梯形图设计出来后，再“积零为整”完善相互关系，使编制出的梯形图实现其根据控制任务所确定的顺序的全部功能。完善的梯形图程序除能满足数控机床（被控对象）控制要求外，还应具有最小的步数、最短的顺序处理时间和容易理解的逻辑关系。

（3）数控机床中PLC控制程序的调试

编制好的PLC控制程序需要经过运行调试，以确认是否满足数控机床控制的要求。一般来说，控制程序要经过“仿真调试”（或称模拟调试）和“联机调试”合格后，并制作成程序的控制介质，才算编程完毕。

下面以数控机床的主轴控制为例，介绍内装型PLC在数控机床控制中的应用程序设计。

2. PLC在数控机床主轴中的控制程序

数控机床的主轴控制是数控机床中重要部件的控制，它控制的好坏，直接关系到数控机床的性能。数控机床的主轴控制包括主轴运动控制和定向控制两方面。

（1）数控机床的主轴运动控制

数控机床的主轴运动控制包括起/停控制、速度控制、顺时针和逆时针等旋向控制、手动控制和自动控制等形式，还有主轴故障等。在分析清楚主轴运动控制的基础上，根据数控机床中PLC的配置和主轴控制的相关地址，编制I/O接口文件；根据I/O接口分配和控制要求，结合硬件连接，进行程序设计。下面就以PLC控制系统代替某数控机床主轴运动的“继电器-接触器”控制系统的局部梯形图程序为例，分析该梯形图程序控制原理，为相关控制系统设计提供思路和示范。

数控机床主轴运动控制的局部梯形图如图5-30所示。图中包括主轴旋转方向控制（顺时针旋转或逆时针旋转）、主轴齿轮换挡控制（低速档或高速档）和主轴错误等，控制方式分手动和自动两种上作方式。

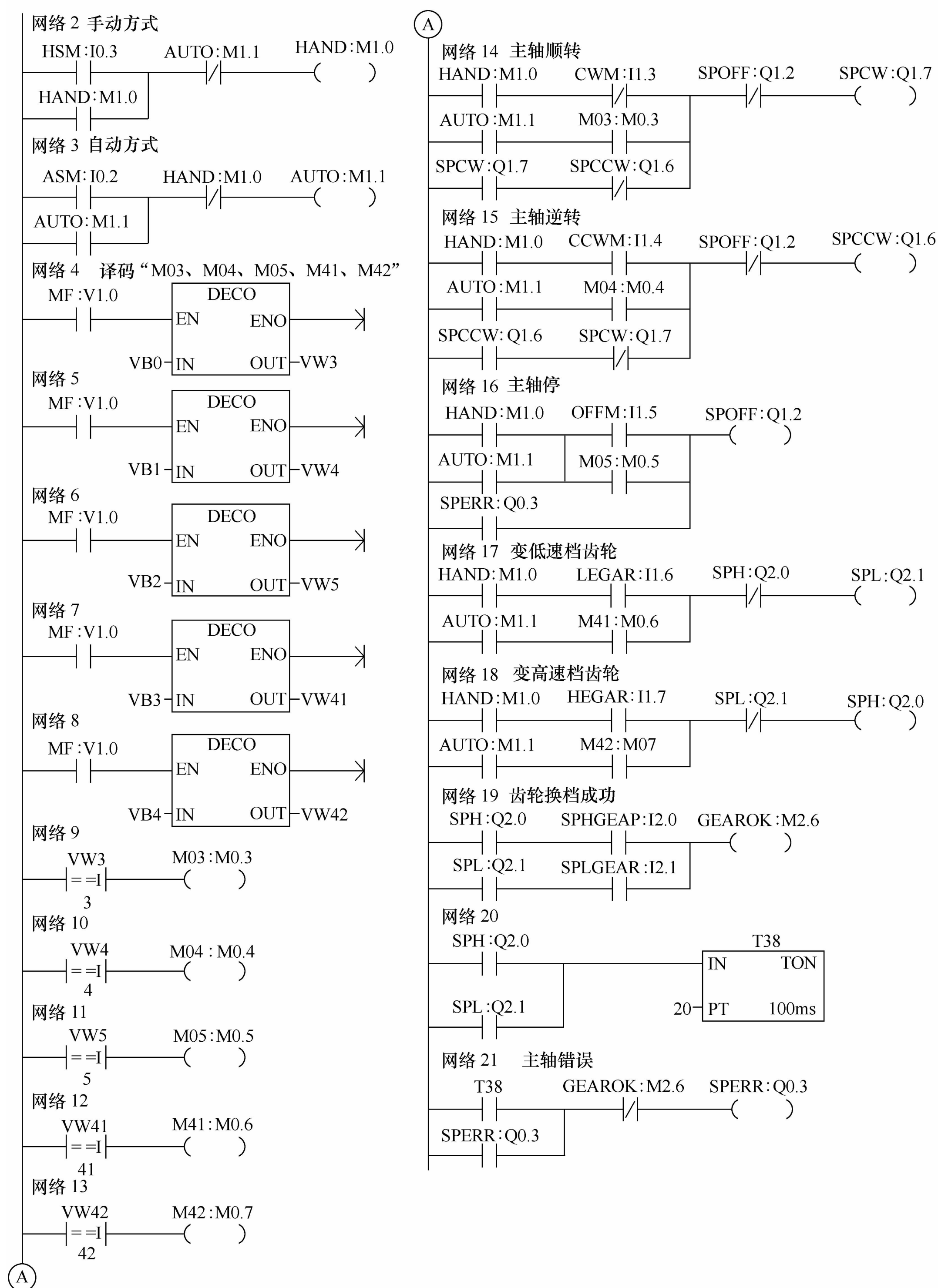


图 5-30　数控机床主轴运动控制的局部梯形图

下面就梯形图进行工作过程分析。

当数控机床操作面板上的工作方式开关选在手动时，I0.3（HSM）信号为 1，M1.0（HAND）接通，使网络中 M1.0 的常开触点闭合，电路自保，从而处于手动工作方式。

当工作方式开关选在自动位置时，此时 I0.2（ASM）=1，使系统处于自动方式。在自动方式下，通过程序给出主轴顺时针旋转指令 M03，或逆时针旋转指令 M04，或主轴停止旋转指令 M05，分别控制主轴的旋转方向和停止。梯形图中 DECO 为译码功能指令。当零件加工程序中有 M03 指令，在输入执行时经过一段时间延时（约几十毫秒），V1.0（MF）=1，开始执行 DECO 指令，译码确认为 M03 指令后，M0.3（M03）接通，其接在“主轴顺转”中的 M0.3 常开触点闭合，使输出位寄存器 Q1.7（SPCW）接通（即为 1），主轴顺时针（在自动控制方式下）旋转。若程序上有 M04 指令或 M05 指令，控制过程与 M03 指令类似。由于手动、自动方式网络中输出位寄存器的常闭触点互相接在对方的控制电路中，使手动和自动工作方式之间互锁。在“主轴顺时针旋转”网络中，M1.0（HAND）=1，当主轴旋转方向旋钮置于主轴顺时针旋转位置时，I1.3（CWM 顺转开关信号）=1，又由于主轴停止旋钮开关 I1.5（OFFM）没接通，Q1.2（SPOPF）常闭触点为 1，使主轴手动控制顺时针旋转。

当逆时针旋钮开关置于接通状态时，与顺时针旋转分析方法相同，使主轴逆时针旋转。由于主轴顺转和逆转输出位寄存器的常闭触点 Q1.7（SPCW）和 Q1.6（SPCCW）互相接在对方的自保电路中，再加上各自的常开触点接通，使之自保并互锁。同时 I1.3（CWM）和 I1.4（CCWM）是个旋钮的两个位置也起互锁作用。

在“主轴停”网络中，手动时，如果把主轴旋钮开关接通（即 I1.5 = 1），则 Q1.2（SPOFF）通电，其常闭触点（分别接在主轴顺转和主轴逆转网络中）断开，主轴停止转动（正转和逆转）。自动时，如果 CNC 装置得到 M05 指令，PLC 译码使 M0.5 = 1，则 Q1.2（SPOFF）通电，主轴停止。

在机床运行的程序中，需执行主轴齿轮换档时，零件加工程序上应给出换档指令。M41 代码为主轴齿轮低速档指令，M42 代码为主轴齿轮高速档指令。下面以变低速档齿轮为例，分析自动换档的控制过程。

带有 M41 代码的程序输入执行，经过延时，V1.0(MF)=1，DECO 译码功能指令执行，译出 M41 后，使 M0.6 接通，其接在“变低速档齿轮”网络中的常开触点 M0.6 闭合，从而使输出位寄存器 Q2.1（SPL）接通，齿轮箱齿轮换在低速档。Q2.1 的常开触点接在延时网络中，此时闭合，定时器 T38 开始工作。定时器 T38 延时结束后，如果齿轮换档成功，I2.1（SPLGEAR）=1，使换档成功 M2.6（GEAROK）接通（即为 1），Q0.3（SPERR）为 0，没有主轴换档错误。如果主轴齿轮换档不顺利或出现卡住现象时，I2.1（SPLGEAR）为 0，则 M2.6（GEAROK）为 0，GEAHOK 为 0，经过 T38 延时后，延时常开触点闭合，使“主轴错误”输出位寄存器 Q0.3（SPERR）接通，通过常开触点保持闭合，显示“主轴错误”信号，表示主轴换档出错。此外，主轴停止旋钮开关接通，即 I1.5（OFFM）=1，使主轴停止转动（正转或逆转），属于硬件自动停止主轴。

处于手动工作方式时，也可以进行手动主轴齿轮换档。此时，把机床操作面板上的选择开关 LGEAR 置 1（手动换低速齿轮档开关），就可完成手动将主轴齿轮换为低速挡；同样，也可由“主轴错误”显示来表明齿轮换档是否成功。

（2）数控机床主轴的定向控制

数控机床进行工件自动加工、自动交换刀具或键孔加工时，有时要求主轴必须停在一个固定准确的位置，保证加工准确性或换刀，称为主轴定向，完成主轴定向功能的控制，称为主轴定向控制。主轴定向控制梯形图如图 5-31 所示。

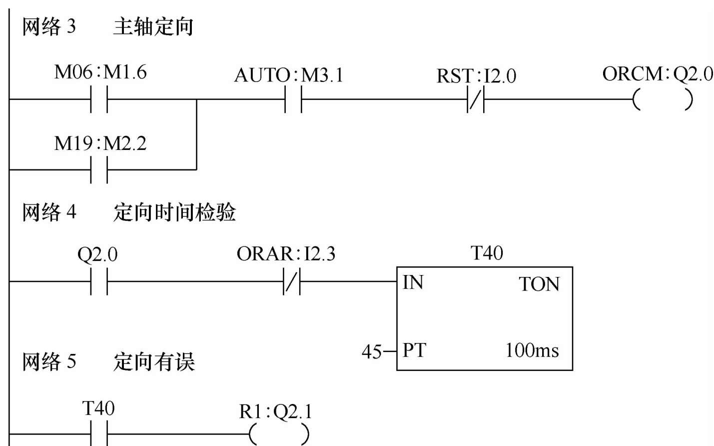


图 5-31　主轴定向控制梯形图

M06（M1.6）是换刀指令，M19（M2.2）是主轴定向指令，这两个信号并联作为主轴定向控制的主指令信号。M3.1（AUTO）为自动工作状态信号，手动时 AUTO 为 0；自动时为 1，I2.0（RST）为 CNC 系统的复位信号。Q2.0（ORCM）为主轴定向输出位寄存器，其触点输出到机床控制主轴定向。I2.3（ORAR）为从数控机床侧输入的“定向到位”信号。

在 CNC 装置中，为了检测主轴定向是否在规定时间内完成，设置了定时器 T40 功能。整定时限为 4.5s（视需要而定）。当在 4.5s 内不能完成定向控制时，将发出报警信号。R1 为报警继电器。

在梯形图中应用了功能指令 T40 进行定时操作。4.5s 的延时数据可通过手动数据输入面板 MDI 在 CRT 上预先设定，并存入数据存储单元

以上是 PLC 在数控机床主轴控制中的应用设计，其程序设计思路值得借鉴。

本 章 小 结

本章介绍了几种常用典型机床的结构组成、运动情况及机床电气控制和 PLC 控制原理图的组成及分析方法。从中可知，机床电气控制和 PLC 控制系统都是按照生产工艺提出的要求，来控制机床的各种运动，以达到合理的目的，为学习掌握更多典型生产设备的电气控制和 PLC 控制奠定基础。

几种常用典型机床的特点是：CA6140 小型车床结构、控制简单。C650 普通车床主轴电动机的容量比较大，设有主轴电气反接制动环节、点动调整环节以及负载的检测环节，此外还没有刀架快速移动电动机等；Z3040 摇臂钻床主轴箱和立柱松开与夹紧的控制及摇臂的松开、移动、夹紧的自动控制，利用了机、电、液的相互配合；M7130 台平面磨床主要使用砂轮头及砂轮端面对工件进行削磨加工，采用电磁吸盘固定工件；组合机床的结构组成主要是由基本控制电路及通用部件的典型控制电路组成；数控机床中的 PLC 主要是用来代替传统机床中继电器的逻辑控制，利用 PLC 的逻辑运算功能实现各种开关量的控制。

生产设备电气控制和 PLC 控制电路的复杂程度虽差异很大，但均是由电动机的起动、正反转、制动、点动控制、多电动机起动的先后顺序控制等基本控制环节组成的。

生产设备的电气控制和 PLC 控制电路主要由主电动机、电气或 PLC 控制电路、辅助电路和联锁、液、气压控制、保护环节等组成，在对机床电气和 PLC 控制电路分析时，首先要对机床设备结构组成、运动工艺要求、工作原理及控制电路进行分析；其次，对复杂的控制电路要“化整为零”，按照主电路、控制电路、照明与信号电路、其他辅助电路等逐一分解，各个击破。对于特别复杂的控制电路要借助于原理框图、状态流程图、状态转移图（SFC）、状态梯形图等，先弄清系统的工作原理，再对照原理框图，分析具体控制电路。

习题与思考题

5-1　如何识读和分析生产设备的电气控制原理图?

5-2　如何识读和分析生产设备的 PLC 控制原理图?

5-3　CA6140 普通车床的“继电器-接触器”控制电路由哪些基本控制环节组成?

5-4　如何进行 CA6140 普通车床的电气与 PLC 电路图分析?

5-5　C650 卧式车床的机械结构有哪些部件组成? 其主要运动有哪些?

5-6　C650 卧式车床的“继电器-接触器”控制电路由哪些基本控制环节组成?

5-7　如何进行 C650 普通车床的电气与 PLC 控制电路图分析?

5-8　Z3040 摇臂钻床的机械结构有哪些部件组成? 其主要运动有哪些?

5-9　Z3040 摇臂钻床的“继电器-接触器”控制电路由哪些基本控制环节组成?

5-10　如何进行 Z3040 摇臂钻床的电气与 PLC 控制电路图分析?

5-11　M7130 平面磨床的机械结构有哪些部件组成? 其主要运动有哪些?

5-12　M7130 平面磨床的“继电器-接触器”控制电路由哪些基本控制环节组成?

5-13　如何进行 M7130 平面磨床的电气与 PLC 控制电路图分析?

5-14　组合机床的机械结构有哪些部件组成? 其工作有什么特点?

5-15　如何进行深孔钻组合机床的 PLC 控制电路图分析?

5-16　如何进行双头钻床的 PLC 控制电路图分析?

5-17　在数控机床中 PLC 的主要功能有哪些?

5-18　PLC 与机床之间是如何进行信号处理的?

5-19　如何编制数控机床中的 PLC 控制程序和进行 PLC 控制程序的分析?

第 6 章　生产设备的电气和 PLC 控制系统设计

主要内容

（1）电气和 PLC 控制系统设计的基本内容和一般原则
（2）电力拖动方案确定原则和电动机的选择
（3）电气控制电路的经验设计法和逻辑设计法
（4）电气控制系统的工艺设计
（5）生产设备的 PLC 控制系统设计

学习重点及教学要求

（1）掌握电力拖动方案确定原则和电动机的选择
（2）掌握电气控制电路的设计方法
（4）掌握电气控制系统的工艺设计
（5）掌握 PLC 控制系统设计方法

设计一台生产设备的电气和 PLC 控制系统，首先需要提出技术要求，拟定总体技术方案，然后才能进行设计工作。设计工作包括机械设计和电气设计两个主要部分。电气设计通常是和机械设计同时开始和同时进行。一台先进生产设备的结构和使用效能与其电气自动化的程度有着十分密切的关系。因此，对于设计人员来说，必须掌握电气设计和安装方面的知识。

生产设备的种类繁多，其控制装置也各不相同，但任何生产设备电控装置的设计总体原则却是相同的：

第一，设计应满足生产设备对电气控制提出的要求，这些要求包括控制方式、控制精度、自动化程度、响应速度等，在电气控制原理设计时要根据这些要求制订出总体技术方案。

第二，设计应满足生产设备本身的制造、使用和维护等需要，全套生产设备的造价要经济，结构要合理，这些问题应在生产设备电气控制装置的工艺设计阶段予以充分的考虑。

第三，设计应与时俱进，尽可能地采用当今世界出现的高新技术，与国际先进技术同步和接轨，使国产设备不落后。

本章介绍的生产设备的电控装置设计只是其设计过程中的一般共性问题，还有许多设计中应该考虑的具体问题必须查阅有关的电气工程技术手册和资料，通过课程设计、毕业设计以及今后在技术工作岗位上亲身参加实践，在分析解决实际问题的过程中获得经验，提高自己的设计能力。

生产设备电气控制系统的设计就是根据其机械设备和加工的工艺过程，设计出合乎要求的、经济合理的电气控制线路；并编制出设备制造、安装和维修使用过程中必需的图纸和资料，包括电气原理图、安装图和接线图以及设备清单和说明书等。由于设计是灵活多变的，

即使是同一功能，不同人员设计出来的电路结构也可能完全不同。因此，作为设计人员，应该随时发现和总结经验，不断丰富自己的知识，开阔思路，才能做出最为合格和技术先进的设计。

6.1　电气控制系统设计的基本内容和一般原则

6.1.1　电气控制系统设计的基本内容

设计一台设备电气控制系统，一般应包括以下设计内容。

1）拟定电气设计的技术条件（任务书）。

2）选择传动电动机的容量和选型。

4）设计电气控制原理图。

5）选择电气元件，制订电动机和电气元件明细表。

6）画出电动机、执行电磁铁、电气控制部件以及检测元件的总布置图。

7）设计电气柜、操作台、电气安装板以及非标准电器和专用安装零件。

8）绘制电控设备装配图和接线图。

9）编写电控系统设计计算说明书和安装使用说明书。

根据生产设备的总体技术要求和电气系统的复杂程度不同，以上步骤可以有增有减，某些图纸和技术文件的内容也可适当合并或增删。

6.1.2　生产设备电气控制电路设计的一般原则

当生产设备的电力拖动方案和控制方案已经确定后，就可以进行生产设备电气控制电路的设计。生产设备电气控制电路的设计是生产设备电力拖动方案和控制方案的具体化实施，一般在设计时应该遵循以下原则。

1. 最大限度地实现生产设备和生产工艺对电气控制电路的要求

控制电路是为整个生产设备和生产工艺过程服务的。因此，在设计之前，要调查清楚生产设备的生产工艺要求，对生产设备的工作性能、结构特点和实际加工情况要有充分的了解。电气设计人员要深入现场对同类或相近的生产设备进行考查和调研，收集资料，加以综合分析，并在此基础上考虑控制方式，起动、反向、制动及调速的要求，设置各种连锁及保护装置，最大限度地实现生产设备和工艺对电气控制的要求。

2. 在满足生产要求的前提下，力求使控制电路简单、经济

1）尽量选用标准的、常用的或经过实际应用考验过的控制环节和电路。

2）尽量缩短连接导线的数量和长度。设计控制电路时，应合理安排各电器的位置，考虑到各个元器件之间的实际接线，要注意电气柜、操作台和限位开关之间的连接线。如图 6-1 所示，起动按钮 SB1 和停止按钮 SB2 装在操作台上，继电器 K 装在电气柜内。图 6-1a 所示的接线不合理，按照图 6-1a 接线就需要由电气柜引出 4 根导线到操作台的按钮上。图 6-1b 所示电路是合理的，它将起动按钮 SB1 和停止按钮 SB2 直接连接，两个按钮之间距离最小，所需连接导线最短。这样，只需要从电气柜内引出 3 根导线到操作台上，节省了一根导线。

3）尽量减少电气元件的品种、规格和数量，并尽可能采用性能优良元件和标准件，同一用途尽量选用相同型号的电气元件。

4）尽量减少不必要的触点以简化电路。在满足动作要求的条件下，电气元件触点愈少，控制电路的故障机率就愈低，工作的可靠性愈高。常用的方法如下：

①在获得同样功能的情况下，合并同类触点，如图 6-2 所示。图 6-2b 将两个电路中间一触点合并，比图 6-2a 在电路上少了一对触点。但是在合并触点时应注意触点对额定电流值的容限。

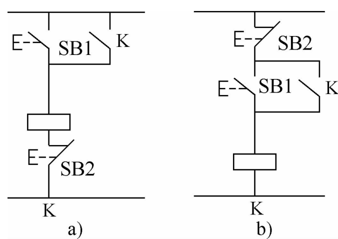


图 6-1　电气柜接线图

a）不合理电路　b）合理电路

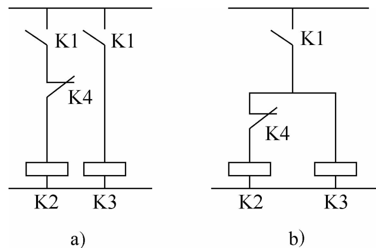


图 6-2　合并同类触点

a）未合并触点　b）合并触点

②利用半导体二极管的单向导电性来有效地减少触点数，如图 6-3 所示。对于弱电电气控制电路，这样做既经济又可靠。

③在设计完成后，可利用逻辑代数进行化简，以得到最简化的电路。

5）尽量减少不必要的通电时间，使电气元件在必要时通电，不必要时尽量不通电，可以充分节约电能并延长电器的使用寿命。如图 6-4 为以时间原则控制的电动机减压起动线路图。图 6-4a 中接触器 KM2 得电后，接触器 KM1 和时间继电器 KT 就失去了作用，不必继续通电，但它们仍处于带电状态。图 6-4b 中电路比较合理，在 KM2 得电后，切断了 KM1 和 KT 的电源。

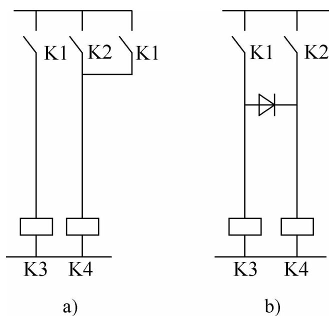


图 6-3　半导体二极管的单向导电性

a）不加二极管　b）加二极管

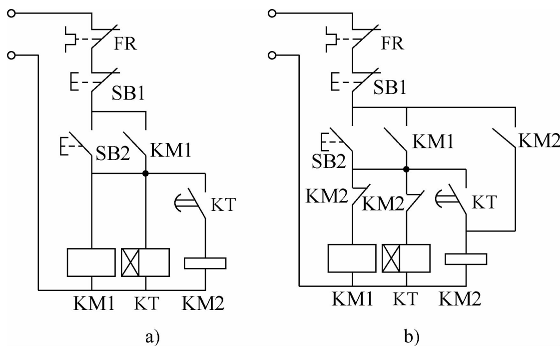


图 6-4　以时间原则控制的电动机减压起动电路

a）不合理电路　b）合理电路

3. 保证控制电路工作的可靠性和安全性

1）选用的电气元件要可靠、牢固、动作时间短，抗干扰性能好。

2）正确连接电器的线圈。在交流控制电路中不能串联接入两个电器的线圈，即使外加电压是两个线圈额定电压之和，也是不允许的，如图 6-5 所示。因为每个线圈上所分配到的电压与线圈阻抗成正比，两个电器动作总是有先有后，不可能同时吸合。若接触器 KM2 先吸合、线圈电感显著增加。其阻抗比未吸合的接触器 KM1 的阻抗大得多，因而在该电路上的电压降增大，使 KM1 的线圈电压达不到动作电压。因此，若需两个电器同时动作时，其线圈应该并联连接。

3）正确连接电器的触点。同一电气元件的常开和常闭触点靠得很近，若分别接在电源不同的相上，由于各相的电位不等，当触点断开时，会产生电弧形成短路。如图 6-6a 所示的开关 S1 的常开和常闭触点间会因电位不同产生飞弧而短路，如图 6-6b 所示开关 S1 的电位相等，就不会产生飞弧。

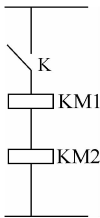


图 6-5　两个接触器线圈串联

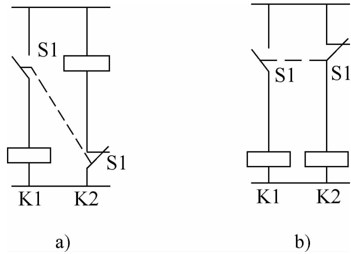


图 6-6　电器触点正确连接方式
a）产生飞弧　b）消除飞弧

4）在控制电路中，采用小容量继电器的触点来断开或接通大容量接触器的线圈时，应计算继电器触点断开或接通容量是否足够，不够时必须加小容量的接触器或中间继电器，否则工作不可靠。在频繁操作的可逆电路中，正反向接触器应选较大容量的接触器。

5）在电路中应尽量避免许多电器依次动作才能接通另一个电器控制电路的情况，如图 6-7a 所示，图 6-7b 为正确电路。

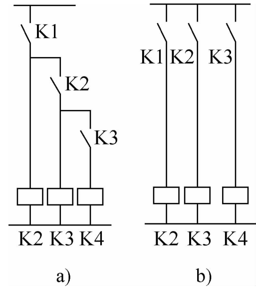


图 6-7　电器正确连接方式
a）不合理　b）减少元器件依次动作

6）避免发生触点“竞争”与“冒险”现象。通常分析控制电路的电器动作及触点的接通和断开，都是静态分析，没有考虑其动作时间。实际上，由于电磁线圈的电磁惯性、机械惯性、机械位移量等因素，通断过程中总存在一定的固有时间（几十毫秒到几百毫秒），这是电气元件的固有特性，其延时通常是不确定、不可调的。电气控制电路中，在某一控制信号作用下，电路从一个状态转换到另一个状态时，通常有几个电器的状态发生变化，由于电气元件总有一定的固有动作时间，往往会发生不按预定时序动作的情况，触点争先吸合，发生振荡，这种现象称为电路的“竞争”。另外，由于电气元件的固有释放延时作用，也会出现开关电器不按要求的逻辑功能转换状态的可能性，称这种现象为“冒险”。“竞争”与“冒险”现象都将造成控制电路不能按要求动作，引起生产设备控制失灵。

如图 6-8a 所示为用时间继电器组成的反身关闭电路。当时间继电器 KT 的常闭触点延时

断开后，时间继电器 KT 线圈失电，经 t_s 秒延时断开的常闭触点恢复闭合，而经 t_s 秒常开触点瞬时动作。如果 $t_s > t_1$ 则电路能反身关闭；如果 $t_s < t_1$ 则继电器 KT 就再次闭合，这种现象就是触点竞争。在此电路中增加中间继电器 KA 就可以解决，如图 6-8b 所示。

要避免发生触点“竞争”与“冒险”现象的方法有：

①应尽量避免许多电器依次动作才能接通另一个电器的控制线路。

②防止电路中因电气元件固有特性引起配合不良后果，当电气元件的动作时间可能影响到控制线路的动作程序时，就需要用时间继电器配合控制，这样可清晰地反映元件动作时间及它们之间的互相配合。

③若不可避免，则应将产生“竞争”与“冒险”现象的触点加以区分、连锁隔离或采用多触点开关分离。

7）在控制电路中应避免出现寄生电路。在电气控制电路的动作过程中，意外接通的电路叫寄生电路（或假电路）。图 6-9 所示是一个具有指示灯和热继电器保护的正反向控制电路。

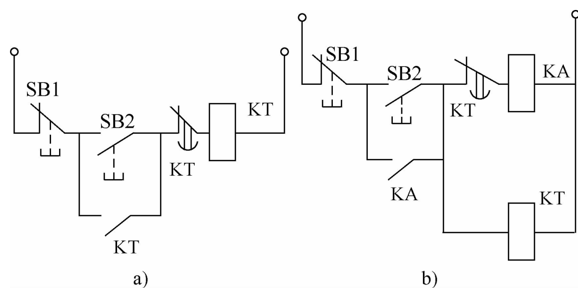


图 6-8　时间继电器组成的反身关闭电路

a）“竞争”与“冒险”　b）合理电路

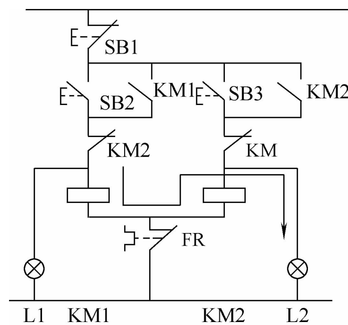


图 6-9　寄生电路

在正常工作时，能完成正反向起动、停止和信号指示；但当热继电器 FR 动作时，电路就出现了寄生电路（如图 6-9 中箭头所示），使正向接触器 KM1 不能释放，起不了互锁保护作用。

避免产生寄生电路的方法有：在设计电气控制电路时，严格按照“线圈、能耗元件下边接电源（零线），上边接触点”的原则，降低产生寄生电路的可能性；还应注意消除两个电路之间产生联系的可能性，若不可避免应加以区分、连锁隔离或采用多触点开关分离。如将图中的指示灯分别用 KM1、KM2 的另外常开触点直接连接到上边的控制母线上，就可消除寄生电路。

8）设计的电路应能适应所在电网情况，根据现场的电网容量、电压、频率，以及允许的冲击电流值等，决定电动机是否直接或间接（减压）起动。

4. 操作和维修方便

电气设备应力求维修方便，使用安全。电气元件应留有备用触点，必要时应留有备用电气元件，以便检修、改接线用，为避免带电检修应设置隔离电器。控制机构应操作简单、便利，能迅速而方便地由一种控制形式转换到另一种控制形式，例如由手动控制转换到自动控制等。

6.2　拟定任务书，确定电力拖动方案和选择电动机

6.2.1　拟定任务书

设计任务书是一切设计的依据。由于生产设备是为生产工艺服务的，电气控制是为生产设备服务的，为此，通常电气设计任务书是由生产设备总体工艺人员提出工艺要求，由生产设备和电气设计人员根据生产设备使用环境、现场条件、技术水平和资金能力等因素共同商定设计方案，确定设计任务。

6.2.2　确定电力拖动方式

电力拖动方案是指确定传动电动机的类型、数量、传动方式及电动机的起动、运行、调速、转向、制动等控制要求，是电气设计的主要内容之一，为电气控制原理图设计及电气元件选择提供依据。确定电力拖动方案必须依据生产设备的精度、工作效率、结构以及运动部件的数量、运动要求、负载性质、调速要求以及投资额等条件。

生产设备电动机的拖动方式有：单独拖动，一台设备只有一台电动机拖动；分立拖动由多台电动机分别驱动各个工作机构，通过机械传动链连接各个工作机构。

目前电气传动发展的趋势是缩短机械传动链，电动机逐步接近工作机构，以提高传动效率。因而在确定生产设备拖动方式时应根据生产工艺及结构的具体情况决定电动机的数量。

6.2.3　确定生产设备调速方案

不同的生产设备有不同的调速要求，为了达到一定的调速范围，可分别采用齿轮变速箱、液压调速装置、双速或多速电动机以及电气的无级调速等传动方案。

6.2.4　进行电动机的选择

电动机的选择包括电动机的种类、结构形式、额定转速和额定功率。电动机的种类和转速根据生产设备的调速要求选择，一般都应优先考虑采用交流电动机，仅在起动、制动和调速不满足电控要求时才选用直流电动机；电动机的结构形式应适应生产设备的结构和现场环境，可选用开启式、防护式、封闭式、防腐式甚至是防爆式电动机；电动机的额定功率根据机床的功率负载和转矩负载选择，使电动机容量得到充分利用。

下面以机床设备为例来说明电动机的的具体选择：

1. 机床用电动机容量的选择

一般情况下为了避免复杂的计算过程，机床电动机容量的选择往往采用统计类比或根据经验采用工程估算方法，但这通常具有较大的宽裕度。

根据机床的负载功率（例如切削功率）就可选择电动机的容量。然而机床的载荷是经常变化的，而每个负载的工作时间也不尽相同，这就产生了使电动机功率如何最经济的满足机床负载功率的问题。机床电力拖动系统一般分为主拖动及进给拖动。

（1）机床主拖动电动机容量选择

多数机床负载情况比较复杂，切削用量变化很大，尤其是通用机床负载种类更多，不易

准确地确定其负载情况。一般情况下为了避免复杂的计算过程，机床电动机容量的选择往往采用统计类比或根据经验采用工程估算方法，这种方法通常具有较大的宽裕度。因此通常采用调查统计类比或采用分析与计算相结合的方法来确定电动机的功率。

1）调查统计类比法。确定电动机功率前，首先进行广泛调查研究，分析确定所需要的切削用量，然而用已确定的较常用的切削用量的最大值，在同类型同规格的机床上进行切削实验并测出电动机的输出功率，以此测出的功率为依据，再考虑到机床最大负载情况，以及采用先进切削方法及新工艺等，然后类比国内外同类机床电动机的功率，最后确定所设计机床电动机功率来选择电动机。这种方法有实用价值，以切削实验为基础进行分析类比，符合实际情况。

目前我国机床设计制造部门，往往都采用这种方法来选择电动机容量。这种方法就是对机床主拖动电动机进行实测、分析，找出了电动机容量与机床主要数据的关系，根据这种关系作为选择电动机容量的依据。

①卧式车床主电动机的功率

$$P = 36.5D^{1.54} \tag{6-1}$$

式中　P——主拖动电动机功率（kW）；

D——工件最大直径（m）。

②立式车床主电动机的功率

$$P = 20.0D^{0.88} \tag{6-2}$$

式中　P——主拖动电动机功率（kW）；

D——工件最大直径（m）。

③摇臂钻床主电动机的功率

$$P = 0.0646D^{1.19} \tag{6-3}$$

式中　P——主拖动电动机功率（kW）；

D——工件最大钻孔直径（mm）。

④卧式镗床主电动机的功率

$$P = 0.04D^{1.7} \tag{6-4}$$

式中　P——主拖动电动机功率（kW）；

D——镗杆直径（mm）。

⑤龙门铣床主电动机的功率

$$P = \frac{1}{166}B^{1.75} \tag{6-5}$$

式中　P——主拖动电动机功率（kW）；

B——工作台宽度（mm）。

2）分析计算法。可根据机床总体设计中对机械传动功率的要求，确定机床拖动用电动机功率。即知道机械传动的功率，可计算出所需电动机功率：

$$P = P_1/\eta_1\eta_2 \tag{6-6}$$

式中　P——电动机功率；

P_1——机械传动轴上的功率；

η_1——生产机械效率；

η_2——电动机与生产机械之间的传动效率。

$$P = P_1/\eta_{总}，\eta_{总} = \eta_1\eta_2$$

式中，$\eta_{总}$——机床总效率，一般主运动为回转运动的机床，$\eta_{总}$ = 0.7 ~ 0.855；主运动为往复运动的机床，$\eta_{总}$ = 0.6 ~ 0.7（结构简单的取大值，复杂的取小值）。

计算出电动机的功率，仅仅是初步确定的数据，还要根据实际情况，进行分析，对电动机进行校验，最后确定其容量。

（2）机床进给运动电动机容量选择

机床进给运动的功率也是由有效功率和功率损失两部分组成。一般进给运动的有效功率都是比较小的，如通用车床进给有效功率仅为主运动功率的 0.0015 ~ 0.0025；铣床为 0.015 ~ 0.025；但由于进给机构传动效率很低，实际需要的进给功率，车床、钻床的有效功率约为主运动功率的 0.03 ~ 0.05；而铣床则为 0.2 ~ 0.25。一般地，机床进给运动传动效率为 0.15 ~ 0.2，甚至还低。

车床和钻床，当主运动和进给运动采用同一电动机时，只计算主运动电动机功率即可。对主运动和进给运动没有严格内在联系的机床，如铣床，为了使用方便和减少电能的消耗，进给运动一般采用单独电动机传动，该电动机除传动进给外还传动工作台的快速移动。由于快速移动所需的功率比进给大得多，因此电动机功率通常是由快速移动所需要的功率而决定的。快速移动所需要的功率，一般由经验数据来选择，见表 6-1。

表 6-1　机床快速移动所需要的功率值

机床类型		运动部件	移动速度/(m/min)	所需电动机功率/kW
卧式车床	$D_{工件}$ = 400mm	溜板	6 ~ 9	0.6 ~ 1.0
	$D_{工件}$ = 600mm	溜板	4 ~ 6	0.8 ~ 1.2
	$D_{工件}$ = 1000mm	溜板	3 ~ 4	3.2
摇臂钻床 $d_{工件}$ = 35 ~ 75mm		摇臂	0.5 ~ 1.5	1 ~ 2.8
升降台铣床		工作台	4 ~ 6	0.8 ~ 1.2
		升降台	1.5 ~ 2.0	1.2 ~ 1.5
龙门铣床		横梁	0.25 ~ 0.50	2 ~ 4
		横梁上的铣头	1.0 ~ 1.5	1.5 ~ 2
		立柱上的铣头	0.5 ~ 1.0	1.5 ~ 2

2. 电动机转速和结构型式的选择

电动机功率的确定是选择电动机的关键，但也要对转速、使用电压等级及结构型式等项目进行选择。

（1）确定机床调速方案

不同的机床对象有不同的调速要求，为了达到一定的调速范围，可分别采用齿轮变速箱、液压调速装置、双速或多速电动机以及电气的无级调速等传动方案。在选择机床调速方案时，可参考以下几点内容。

1）重型或大型机床设备主运动及进给运动，应尽可能采用无级调速。这有利于简化机械结构，缩小体积，降低制造成本。

2）精密机床如坐标镗床、精密磨床、数控机床以及某些精密机械手，为了保证加工精度和动作的准确性，也应采用电气无级调速方案。

3）一般中小型机床设备如普通机床没有特殊要求时，可选用经济、简单、可靠的三相笼型异步电动机，配以适当级数的齿轮变速箱。为了简化结构，扩大调速范围，也可采用双速或

多速的笼型异步电动机。在选用三相笼型异步电动机的额定转速时，应满足工艺条件要求。

在选择电动机调速方案时，要保证电动机的调速特性与负载特性相适应，否则将会引起拖动工作的不正常，电动机不能充分合理的使用。例如，双速笼型异步电动机，当定子绕组由△连接改接成丫丫连接时，转速增加一倍，功率却增加很少，因此适用于恒功率传动。对于低速为丫连接的双速电动机改接成丫丫后，转速和功率都增加 1 倍，而电动机所输出的转矩却保持不变，适用于恒转矩传动。分析调速性质和负载特性，找出电动机在整个调速范围内的转矩、功率与转速的关系，以确定负载是需要恒功率调速还是恒转矩调速，为合理确定拖动方案和控制方案以及电动机和电动机容量的选择提供必要的依据。

（2）结构型式的选择

异步电动机由于它结构简单坚固、维修方便、造价低廉，因此在机床中使用最为广泛。

电动机的转速愈低则体积愈大，价格也愈高，功率因数和效率也就低，因此电动机的转速要根据机床机械的要求和传动装置的具体情况加以选定。异步电动机的同步转速有 3000r/min；1500r/min；1000r/min，750r/min；600r/min 等几种，这是由于电动机的磁极对数的不同而定的。电动机转子转速由于存在着转差率，一般比同步转速约低 2% ~5%。一般情况下，可选用同步转速为 1500 r/min 的电动机，因为这个转速下的电动机适应性较强，而且功率因数和效率也高。若电动机的转速与该机床机械的转速不一致，可选取转速稍高的电动机通过机械变速装置使其一致。

异步电动机的电压等级为 380V。但要求宽范围而平滑的无级调速时，可采用交流变频调速或直流调速。

一般来说，金属切削机床都采用通用系列的普通电动机。电动机的结构型式按其安装位置的不同可分为卧式（轴为水平）、立式（轴为垂直）等。为了使拖动系统更加紧凑，使电动机尽可能地靠近机床的相应工作部位。如立铣、龙门铣、立式钻床等机床的主轴都是垂直于机床工作台的。这时选用垂直安装的立式电动机，可不需要锥齿轮等机构来改变转动轴线的方向了。又如装入式电动机，电动机的机座就是床身的一部分，它安装在床身的内部。

在选择电动机时，也应考虑机床的转动条件，对易产生悬浮飞扬的铁屑或废料，或冷却液、工业用水等有损于绝缘的介质能侵入电动机的场合，选用封闭式结构为适宜。煤油冷却切削刀具的机床或加工易燃合金材料的机床应选用防爆式电动机。按机床电气设备通用技术条件中规定，机床应采用全封闭扇冷式电动机。机床上推荐使用防护等级最低为 IP_{44} 的交流电动机。在某些场合下，还必须采用强迫通风。

机床上常选用 Y 系列封闭自扇冷式笼型三相异步电动机，是全国统一设计的新的基本系列，它是我国取代 JO_2 系列的更新换代产品。其安装尺寸和功率等级完全符合 IEC 标准和 DIN 42673 标准。本系列采用 B 级绝缘，外壳防护等级为 IP_{44}，冷却方式为 ICO. 141。

YD 系列三相异步电动机的功率等级和安装尺寸与国外同类型先进产品相当，因而具有互换性，便于机床配套出口。

6. 2. 5　生产设备的起动、制动和反向要求

一般情况下，由电动机完成生产设备的起动、制动和反向要求比机械方法简单容易。生产设备的起动、停止、正反转运动和调整操作，只要条件允许最好由电动机完成。

对于起动转矩要求较小的生产设备，原则上可采用任何一种起动方式。对于起动时要克

服较大静转矩的生产设备，必要时可选用高起动转矩的电动机，或采用提高起动转矩的措施。另外，还要考虑电网容量，对电网容量不大而起动电流较大的电动机，一定要采取限制起动电流的措施，如Y-△起动、自耦变压器起动、定子回路串电阻减压起动等，以免电网电压波动较大而造成事故。

传动电动机是否需要制动，应视生产设备工作循环的长短而定。如对于某些高速高效金属切削机床，宜采用电动机制动。如果对于制动的性能无特殊要求而电动机又需要反转时，则采用反接制动可使电路简化。在要求制动平稳、准确，即在制动过程中不允许有反转可能性时，则宜采用能耗制动方式。在某些生产设备中也常采用具有连锁保护功能的电磁机械制动（电磁抱闸），在有些场合下也可采用回馈制动等。

6.3　电气控制电路的经验设计法和逻辑设计法

电气控制电路有两种设计方法：一种是经验设计法；另一种是逻辑代数设计法。下面对这两种常用设计方法分别进行介绍。

6.3.1　经验设计法

所谓经验设计法就是根据生产工艺要求直接设计出控制电路。在具体的设计过程中，通常有两种做法：一种是根据生产设备的工艺要求，适当选用现有的典型电控环节，将它们有机地组合起来，综合成所需要的控制电路；另一种是根据生产工艺要求自行设计，随时增加所需的电气元件和触点，以满足给定的工作条件。

1. 经验设计法的基本步骤

一般的电气控制电路设计包括主电路和辅助电路等的设计。

（1）主电路设计

主电路设计主要考虑电动机的起动、点动、正反转、制动及多速电动机的调速、短路、过载、欠电压等各种保护环节以及连锁、照明和信号等环节。

（2）辅助电路设计

辅助电路设计主要考虑如何满足电动机的各种运转功能及生产工艺要求。设计步骤是根据生产设备对电气控制电路的要求，首先设计出各个独立环节的控制电路，然后再根据各个控制环节之间的相互依赖和制约关系，进一步拟定连锁、互锁及保护控制等辅助电路的设计，最后再考虑根据电路的简单、经济和安全、可靠等原则，修改电路。

（3）反复审核电路是否满足设计原则

在条件允许的情况下，进行模拟试验，逐步完善整个电气控制电路的设计，直至电路动作准确无误。

2. 经验设计法的特点

1）易于掌握，使用很广，但一般不容易获得最佳设计方案。

2）要求设计者具有一定的实际经验，在设计过程中往往会因考虑不周发生差错，影响电路的可靠性。

3）当电路达不到要求时，多用增加触点或电器数量的方法来加以解决，所以设计出的电路通常不是最简单经济的。

4）需要反复修改草图，一般需要进行模拟试验，设计速度慢。

3. 经验设计法举例

下面以设计某龙门刨床横梁升降控制电路为例来说明经验设计法。

龙门刨床（或立车）上装有横梁机构，刀架装在横梁上，随着加工工件大小不同横梁机构需要沿立柱上下移动，在加工过程中，横梁又需要保证夹紧在立柱上不松动。横梁的上升与下降由横梁升降电动机来驱动，横梁的夹紧与放松由横梁夹紧放松电动机来驱动。横梁升降电动机装在龙门顶上，通过蜗轮传动，使立柱上的丝杠转动，通过螺母使横梁上下移动。横梁夹紧电动机通过减速机构传动夹紧螺杆，通过杠杆作用使压块夹紧或放松。龙门刨床横梁夹紧放松示意图如图 6-10 所示。

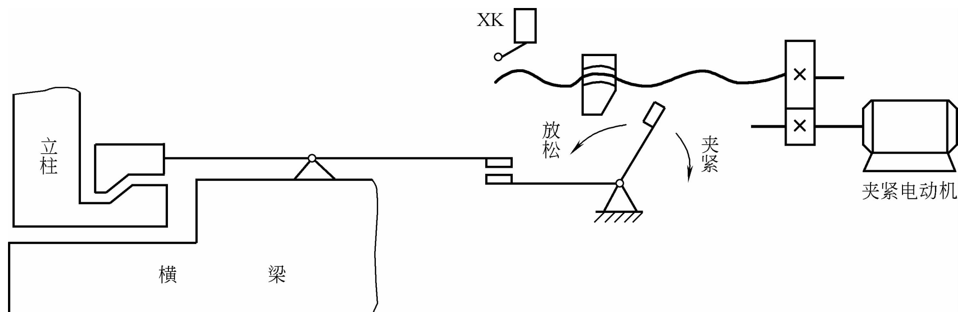


图 6-10　龙门刨床横梁夹紧放松示意图

龙门刨床横梁机构对电气控制系统的工艺要求如下：

1）刀架装在横梁上，要求横梁能沿立柱做上升、下降的调整移动。

2）在加工过程中，横梁必须紧紧地夹在立柱上，不许松动。夹紧机构能实现横梁的夹紧和放松。

3）在动作配合上，横梁夹紧与横梁移动之间必须有一定的操作程序，具体如下：

①按动向上或向下移动按钮后，首先使夹紧机构自动放松；

②横梁放松后，自动转换成向上或向下移动；

③移动到所需要的位量后，松开按钮，横梁自动夹紧；

④夹紧后夹紧电动机自动停止运动。

4）横梁在上升与下降时，应有上下行程的限位保护。

5）正反向运动之间，以及横梁夹紧与移动之间要有必要的联锁。

在了解清楚龙门刨床横梁机构上述生产工艺要求之后，就可以进行控制电路的设计了。

（1）设计主电路

根据横梁能上下移动和能夹紧放松的工艺要求，需要用两台电动机来驱动，且电动机能实现正反向运转。因此采用 4 个接触器 KM1、KM2 和 KM3、KM4，分别控制升降电动机 M1 和夹紧放松电动机 M2 的正反转，如图 6-11a 所示。因而，主电路就是控制两台电动机正反转的电路。

（2）设计基本控制电路

由于横梁的升降和夹紧放松均为调整运动，故都采用点动控制。采用两个点动按钮分别控制升降和夹紧放松运动，仅靠两个点动按钮控制 4 个接触器线圈，则需要增加两个中间继

电器 KA1 和 KA2。根据工艺要求可设计出如图 6-11b 所示的草图。

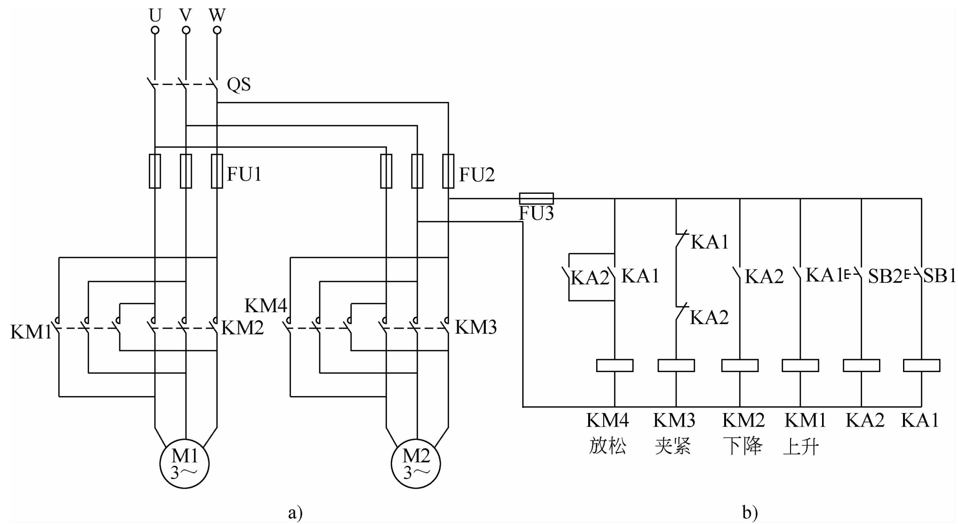


图 6-11　龙门刨床横梁控制电路

a）横梁控制的主电路　b）横梁控制的辅助电路

经仔细分析可知，该电路存在问题如下：

①按动上升点动按钮 SB1 后，接触器 KM1 和 KM4 同时得电吸合，横梁的上升与放松同时进行，按动下降点动按钮 SB2，也出现类似情况。不满足“夹紧机构先放松，横梁后移动”的工艺要求。

②放松线圈 KM1，一直通电，使夹紧机构持续放松，没有设置检测元件检查横梁放松的程度。

③松开按钮 SB1，横梁不再上升，横梁夹紧线圈得电吸合，横梁持续夹紧，不能自动停止。

根据以上问题，需要恰当地选择控制过程中的变化参量，实现上述自动控制要求。

（3）选择控制参量，确定控制原则

1）反映横梁放松程度的参量。可以采用行程开关 SQ1 检测放松程度，如图 6-12 所示。当横梁放松到一定程度时，其压块压动 SQ1，使常闭触点 SQ1 断开，表示已经放松，接触器 KM4 线圈失电；同时，常开触点 SQ3 闭合，使上升或下降接触器 KM1 或 KM2 通电，横梁向上或向下移动。

2）反映横梁夹紧程度的参量。包括时间参量、行程参量和反映夹紧力的电流量。若用时间参量，不易调整准确度；若用行程参量，当夹紧机构磨损后，测量也不准确。这里选用反映夹紧力的电流参量是适宜的，夹紧力大，电流也大，故可以借助过电流继电器来检测夹紧程度。图 6-12 中，在夹紧电动机 M2 夹紧方向的主电路中串联过电流继电器 KA3，将其动作电流整定在额定电流的两倍左右。过电流继电器 KA3 的常闭触点串接在接触器 KM3 电路中。当夹紧横梁时，夹紧电动机 M2 的电流逐渐增大，当超过过电流继电器整定值时，KA3 的常闭触点断开，KM3 线圈失电，自动停止夹紧电动机的工作。

3）设计连锁保护环节。采用行程开关 SQ2 和 SQ3 分别实现横梁上、下行程的限位保护。

图 6-12 为修改过的完整控制电路图。其中：

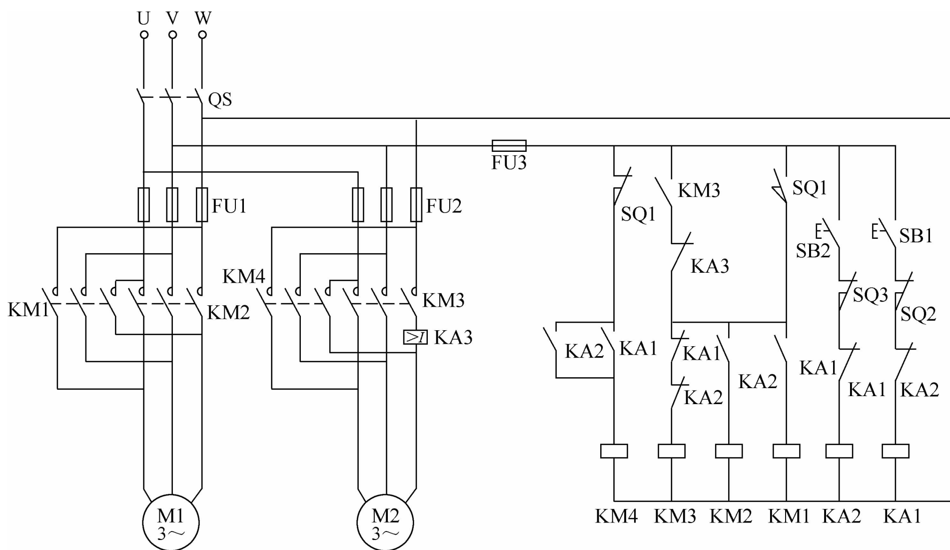


图 6-12　完整的控制电路图

①采用熔断器 FU1 和 FU2 作短路保护。

②行程开关 SQ1 不仅反映了放松信号，而且还起到了横梁移动和横梁夹紧之间的连锁作用。

③中间继电器 KA1、KA2 的常闭触点，用于实现横梁移动电动机和夹紧电动机正反向运动的联锁保护。

4）电路的完善和校核。控制电路设计完毕后，往往还有不合理的地方，或者还有需要进一步简化或优化之处，应认真仔细地校核。对图 6-12 所示电路的审核是对照生产机械工艺要求，反复分析所设计电路是否能逐条实现，是否会出现误动作，是否保证了设备和人身安全，是否还要进一步简化以减少触点或节省连线等。

下面分 4 个阶段对横梁移动和夹紧放松进行分析。

①按下横梁上升点动按钮 SB1，由于行程开关 SQ1 的常升触点没有压合，M1 不工作；中间继电器 KA1 线圈得电、KM4 线圈得电，夹紧放松电动机 M2 放松。

②当横梁放松到一定程度时，夹紧装置将 SQ1 压下，夹紧放松电动机停止工作；SQ1 常开触点闭合，驱动横梁在放松状态下向上移动。下降电动机工作将横梁压下，其常闭触点断开，KM4 线圈失电，KM1 线圈得电，升降电动机 M1 起动。

③当横梁移动到所需位置时，松开上升点动按钮 SB1，KA1 线圈失电，KM1 线圈失电使升降电动机 M1 停止工作；由于横梁处于放松状态，SQ1 的常开触点一直闭合，KA1 常闭触点闭合，KM3 线圈得电，使 M2 反向工作，从而进入夹紧阶段。

④当夹紧电动机 M2 刚起动时，起动电流较大，过电流继电器 KA3 动作，但是由于 SQ1 的常开触点闭合，KM3 线圈仍然得电；横梁继续夹紧，电流减小，过电流继电器 KA3 复位；

在夹紧过程中，行程开关 SQ1 复位，为下次放松作准备。当夹紧到一定程度时，过电流继电器 KA3 的常闭触点断，KM2 线圈失电，切断夹紧放松电动机 M2 电源，整个上升过程到此结束。

横梁下降的工作过程与横梁上升操作过程类同。

从以上分析初看无问题，但仔细分析第二阶段即横梁上升或下降阶段，其条件是横梁必须放松到位。如果按下 SB1 后的时间很短，横梁放松还未到位就已松开按下的按钮，致使横梁既不能放松又不能进行夹紧，容易出现事故。改进的方法是将 KM4 的辅助触点并联在 KM1、KM2 两端，使横梁一旦放松，就必然继续工作至放松到位，然后可靠地进入夹紧阶段。

6.3.2　逻辑设计法

逻辑设计法是根据机床生产工艺的要求，利用逻辑代数来分析、化简、设计电路的方法。这种设计方法是将机床控制电路中的继电器、接触器线圈的通、断，触点的断开、闭合等看成逻辑变量，并根据机床控制要求将它们之间的关系用逻辑函数关系式来表达，然后再运用逻辑函数基本公式和运算规律进行简化，根据最简式画出相应的机床电路结构图，最后再作进一步的检查和完善，即能获得需要的控制电路。

逻辑设计法较为科学，能够确定实现一个机床控制电路所必需的最少的中间记忆元件（中间继电器）的数目，以达到使逻辑电路最简单的目的，设计的电路比较简化、合理。但是当设计的机床控制系统比较复杂时，这种方法就显得十分繁琐，工作量也大。因此，如果将一个较大的、功能较为复杂的机床控制系统分成若干个互相联系的控制单元，用逻辑设计方法先完成每个单元控制电路的设计，然后再用经验设计方法把这些单元电路组合起来，各取所长，也是一种简捷的设计方法。

逻辑设计法可以使电路简化，充分利用电气元件来得到较合理的电路。对复杂电路的设计，特别是数控生产自动线、组合机床等控制电路的设计，采用逻辑设计法比经验设计法更为方便、合理。

1. 逻辑代数基础

逻辑代数又称布尔代数或开关代数。其中有逻辑变量和逻辑函数。

1）逻辑变量。在逻辑代数中，将具有两种互为对立的工作状态的物理量称为逻辑变量。如作为电气控制的继电器、接触器等电气元件线圈的通电与失电，触点的断开与闭合等，这里线圈和触点都相当于一个逻辑变量，其对立的两种工作状态可采用逻辑“1”和逻辑“0”表示。而且逻辑代数规定，应明确逻辑“1”和逻辑“0”所代表的物理意义。因此，在继电接触式电气控制电路中明确规定：

①电气元件的线圈通电为“1”状态，线圈失电为“0”状态。

②触点闭合为“1”状态，触点断开为“0”状态。

③主令元件如按钮、主令控制器、行程开关等，触点闭合为“1”状态，触点断开为“0”状态。

④电气元件 K1、K2、…Kn 的动合触点分别用 K1、K2、…Kn 表示；动断触点则分别用 $\overline{K1}$、$\overline{K2}$、…$\overline{Kn}$表示。

2）逻辑函数。在“继电器-接触器”控制电路中，把表示触点状态的逻辑变量称为输

入逻辑变量；把表示继电器、接触器线圈等受控元件的逻辑变量称为输出逻辑变量；输出逻辑变量与输入逻辑变量之间所满足的相互关系称为逻辑函数关系，简称为逻辑关系。

2. 逻辑代数的运算法则

（1）逻辑与——触点串联

能够实现逻辑与运算的电路如图 6-13a 所示。逻辑表达式为：$K = A \cdot B$（“·”为逻辑与运算符号）。其表达的含义为：只有当触点 A 与 B 都闭合时，线圈 K 才得电。

（2）逻辑或——触点并联

能够实现逻辑或运算的电路如图 3-13b 所示。逻辑表达式为：$K = A + B$（“+”为逻辑或运算符号）。其表达的含义为：触点 A 或 B 中只要有一个闭合时，线圈 K 就可以得电。

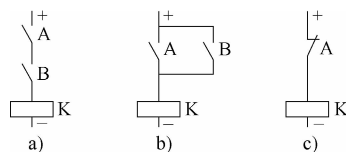


图 6-13　逻辑电路图

（3）逻辑非——触点取反（动断触点）

能够实现逻辑非运算的电路如图 6-13c 所示。逻辑表达式为：$K = \overline{A}$。其表达的含义为：触点 A 断开，则线圈 K 通电。

3. 逻辑代数的基本定理

1）交换律：$A \cdot B = B \cdot A$；$A + B = B + A$。

2）结合律：$A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$；$A + (B + C) = (A + B) + C$。

3）分配律：$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$；$A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$。

4）重叠律：$A \cdot A = A$；$A + A = A$。

5）吸收律：$A + A \cdot B = A$；$A \cdot (A + B) = A$；$A + \overline{A} \cdot B = A + B$。

6）非非律：$\overline{\overline{A}} = A$。

7）反演律：$\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$；$\overline{AB} = \overline{A} + \overline{B}$。

4. 逻辑代数的化简

一般说来，从满足机床设备的工艺要求出发而列写的原始逻辑表达式往往都较为繁琐，涉及的变量较多，据此做出的电气控制电路图也较为繁琐。因此，在保证逻辑功能（生产工艺要求）不变的前提下，可以用逻辑代数的定理和法则将原始的逻辑表达式进行化简，以得到较为简化的电气控制电路图。化简时经常用到的常量和变量的关系为：

$A + 0 = A$；$A \cdot 0 = 0$；$A + 1 = 1$；$A \cdot 1 = A$；$A + \overline{A} = 1$；$A \cdot \overline{A} = 0$

化简时经常用到的方法有：

（1）合并项法

利用 $AB + A\overline{B} = A$，将两项合为一项。例如 $ABC + AB\overline{C} = AB$。

（2）吸收法

利用 $A + AB = A$，消去多余的因子。例如 $B + ABCDEF = B$。

（3）消去法

利用 $A + \overline{A}B = A + B$，消去多余的因子。例如 $\overline{A} + AB + EFD = \overline{A} + B + EFD$

（4）配项法

利用逻辑表达式乘以一个“1”和加上一个“0”其逻辑功能不变来进行化简，即利用 $A + \overline{A} = 1$ 和 $A \cdot \overline{A} = 0$ 来配项。

5. 继电接触器开关的逻辑函数

继电接触器开关的逻辑电路，是以检测信号、主令信号、中间单元及输出逻辑变量的反馈触点作为输入变量，以执行元件作为输出变量而构成的电路。下面将通过两个简单的电路说明组成继电接触器开关的逻辑函数的规律，图 6-14 为起、停自锁电路。

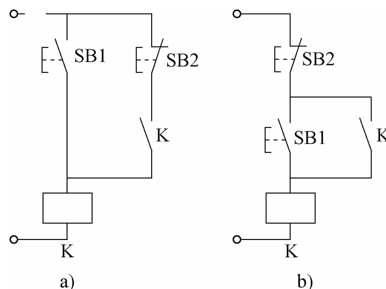


图 6-14　起、停自锁电路

对于图 6-14a，其逻辑函数为

$$F_K = SB1 + \overline{SB2}K$$

其一般形式为 $F_K = X_{开} + X_{关} K$　　（6-7）

对于图 6-14b，其逻辑函数为

$$F_K = \overline{SB2}(SB1 + K)$$

其一般形式为 $F_K = X_{关}(X_{开} + K)$　　（6-8）

式（6-7）和式（6-8）中，$X_{开}$ 代表开启信号；$X_{关}$ 代表关闭信号。

实际起动、停止、自锁的电路，一般都有许多联锁条件，即控制一个线圈通、断电的条件往往都不止一个。对开启信号，当开启信号不只有一个主令信号，还必须具有其他条件才能开启时，则开启主令信号用 $X_{开主}$表示，其他条件称为开启约束信号，用 $X_{开约}$表示。可见，只有当条件都具备时，开启信号才能开启，则 $X_{开主}$与 $X_{开约}$是逻辑与的关系，用 $X_{开主}$、$X_{开约}$去代替式（6-7）、（6-8）中的 $X_{开}$。

当关断信号不只有一个主令信号，还必须具有其他条件才能关断时，则关断主令信号用 $X_{关主}$表示，其他条件称关断约束信号，用 $X_{关约}$表示。可见，只有当信号全为“0”时，信号才能关断，则 $X_{关主}$与 $X_{关约}$是逻辑或的关系，用 $X_{关主}$、$X_{关约}$去代替式（6-7）、式（6-8）中的 $X_{关}$。

因此，起动、停止、自锁电路的扩展公式为

$$F_K = X_{开主}X_{开约} + (X_{关主} + X_{关约})K \tag{6-9}$$

$$F_K = (X_{关主} + X_{关约})(X_{开主}X_{开约} + K) \tag{6-10}$$

6. 逻辑设计法的基本步骤

电气控制电路的组成一般有输入电路、输出电路和执行元件等。输入电路主要由主令元件、检测元件组成。主令元件包含手动按钮、开关、主令控制器等。其功能是实现开机、停机及发生紧急情况下的停机等控制。这里，主令元件发出的信号称为主令信号。检测元件包含行程开关、压力继电器、速度继电器等各种继电气元件，其功能是检测物理量，作为程序自动切换时的控制信号，即检测信号。主令信号、检测信号、中间元件发出的信号、输出变量反馈的信号组成控制电路的输入信号。输出电路由中间记忆元件和执行元件组成。中间记忆元件即继电器，其基本功能是记忆输入信号的变化，使得按顺序变化的状态（以下称为程序）两两相区分。

执行元件分为有记忆功能的和无记忆功能的两种。有记忆功能的执行元件有继电器、接触器。无记忆功能的执行元件有电磁阀、电磁铁等。执行元件的基本功能是驱动机床设备的运动部件满足生产工艺要求。

逻辑设计法的基本步骤如下：

1）充分研究生产设备加工工艺过程，由生活设备生产工艺要求，绘出工作循环图或工

作示意图。

2）确定执行元件和检测元件，按工作循环图绘出执行元件的动作节拍表和检测元件状态表。

执行元件的动作节拍表由生产工艺要求决定，是预先提供的。执行元件动作节拍表实际上表明继电器、接触器等电器线圈在各程序中的通电、断电情况。

检测元件状态表根据各程序中检测元件状态变化编写。

3）根据主令元件和检测元件状态表写出各程序的特征数，确定待相区分组，增设必要的中间记忆元件，使待相区分组的所有程序区分开。

程序特征数，即由对应程序中所有主令元件和检测元件的状态构成的二进制数码的组合数。例如，当一个程序有两个检测元件时，根据状态取值的不同，则该程序可能有 4 个不同的特征数。

当两个程序中不存在相同的特征数时，这两个程序是相区分的；否则，是不相区分的。将具有相同特征数的程序归为一组，称为待相区分组。

根据待相区分组可设置必要的中间记忆元件，通过中间记忆元件的不同状态将各待相区分组区分开。

4）列写中间记忆元件和执行元件的逻辑函数式。

5）根据逻辑函数式建立电气控制电路图。

6）进一步检查、化简、完善电路，增加必要的连锁、保护等辅助环节，检查电路是否符合原控制要求？有无寄生回路？是否存在触点竞争等现象？

进一步完善电路，完成以上 6 步，就可得到一张完整的生产设备控制原理图。

使用逻辑设计法能够加深对电路的分析与理解，有助于弄清生产设备电气控制系统中输入与输出的作用与相互关系，认识继电器-接触器控制电路设计的实质，为学习和使用 PLC 打下良好的基础。对于具体的设计方法，限于篇幅，本书不做深入介绍，感兴趣的读者可参阅有关参考书。

6.3.3　原理设计中应注意的几个问题

1）控制电压按控制要求选择，符合标准等级。在控制电路简单，不需经常操作，安全性要求不高时，可以直接采用电网电压，即交流 380V 或 220V。当考虑安全要求时，应采用控制变压器将控制电路与主电路电气上隔离开。照明电路采用 36V 以下安全电压。带指示灯的按钮采用 6.3V 电压。晶体管无触点开关一般需要直流 24V 电压。对于微机控制系统应注意弱电电源与强电电源之间的隔离，不能共用零线，以免引起电源干扰。

2）尽可能减少电气元件品种、规格与数量。便于维修和更换，降低成本。

3）正常情况下，尽可能减少通电电器数量，以利于节约能源，延长电气元件寿命，减少故障。

4）合理使用电器触点。接触器、时间继电器往往触点不够用，可以增加中间继电器来解决。

5）合理安排电器触点。避免因电器动作时间有差别，造成“触点竞争”。避免因操作不当，造成“误动作”。避免因某个元件损坏，造成“短路”。避免出现“寄生电路”。

6）设置必要的短路、过载保护，防止故障进一步扩大。

7）设置必须的急停或总停按钮，以防万一出现故障时，切断整个控制回路，进而切断主电源。

8）设置必要的手动控制电路，方便设备调试和维修。

9）设置必要的指示灯、电压表、电流表，随时反映系统运行状态，及时发现故障。

6.4　选择电气元件

控制电路设计完成后，则要根据电器产品目录选择所需的各种控制电器。正确合理地选择常用电气元件是控制电路安全运行、可靠工作的保证。

6.4.1　继电器的选择

1. 电磁式电流、电压、中间继电器

选用电磁式继电器时应考虑继电器线圈电压或电流满足控制电路的要求，同时还应按照控制需要区别选择过电流继电器、欠电流继电器、过电压继电器、欠电压继电器、中间继电器等，另外要注意交流与直流之分。选择中间继电器一般根据负载电流的类型、电压等级和触点数量来选择。

常用的电磁式继电器产品有：JL14 交直流电流继电器；L18 交直流过电流继电器；JT18 直流通用继电器；DY—50Q/50T 系列、DJ100 系列电压继电器；JZ7、JZ8、JZ15、DZ—650、DZ—690（T90）、JS23 等中间继电器；JZC1、JZC2、JZC4、3TH80、3TH82 等系列接触器式中间继电器；BZS—10、BZS—10J 型延时中间继电器以及用做直流电压、时间、欠电流、中间继电器的 JT3 系列等。

2. 时间继电器

选择时间继电器主要从继电器类型、延时方式（通电延时和断电延时）、线圈电压等方面考虑。凡是对延时要求不高的场合一般采用价格较低的 JS7-A 系列时间继电器，要求较高时可采用 JS20 系列晶体管式时间继电器。

3. 热继电器

热继电器选择时要从电动机的工作环境、起动情况、负载性质等因素来考虑。一般轻载起动、长期工作的电动机或间断长期工作的电动机选择二相结构的热继电器；当电源电压的均衡性和工作环境较差时可选三相结构的热继电器；绕组三角形联结的电动机应选用带断相保护装置的热继电器。根据热继电器元件的额定电流应大于电动机额定电流的原则选定热继电器的型号和热元件的额定电流值。根据型号和热元件额定电流确定热元件整定电流的调节范围。一般将热继电器的整定电流调整到电动机的额定电流。对过载能力差的电动机，可将热元件整定值调整到电动机额定电流的 0.6～0.8 倍；对起动时间长、拖动冲击性负载或不允许停车的电动机，热元件的整定电流应调节到电动机额定电流的 1.1～1.15 倍。

热继电器有两相和三相结构之分。三相热继电器又可分为带断相保护型和不带断相保护型。目前常用的热继电器有国内设计生产的产品，也有从国外引进生产的产品。其中 JR0、JR5、JR9、JR10、JR15、JR16 系列产品为国内设计生产的产品。

从国外引进生产的产品主要有：与 LC1—D 系列交流接触器配套使用的 LR1—D 系列热继电器；与 TB40～58 系列交流接触器配套使用的 3UA5 系列热继电器。

4. 速度继电器

常用的速度继电器有 JY1 型和 JFZ0 型。JY1 型能在 3000r/min 以下可靠工作；JFZ0—1 型适用于 300 ~ 1000r/min；JFZ0—2 型适用于 1000 ~ 3600r/min；JFZ0 型有两对动合、动断触点。一般速度继电器转轴在 120r/min 左右即能动作，在 100r/min 以下触点复位。

速度继电器可按安装位置和转速范围选用。JY1 型转速范围较大，JFZ0 型有两种规格和转速范围。另外从触点分断能力看 JY1 要比 JFZ0 大一些。

5. 温度继电器

温度继电器在电路中用于监测重要电气元件温度的变化，当电路中某元件温度高于某限定值时，温度继电器动作，切断电路电源，从而起到保护该元件不因过高的温度而损坏。常用的温度继电器有 JW2 系列。

温度继电器可按使用条件和温控范围选用。

6.4.2 接触器的选择

接触器根据其主触点通过电流种类的不同分为交流、直流两种。

1. 交流接触器

交流接触器的种类较多，主要分为国产型和国外引进型。

（1）国产型主要产品

国产型主要产品有 CJ0、CJ10、CJX1、CJ15、CJ20、CKJ 等系列产品。其中，CJ10、CJ0Z 为常规系列交流接触器；CJ20 为新型系列交流接触器。

（2）国外引进型主要产品

自改革开放以来，我国开始引进国外先进技术，特别是我国加入 WTO 以后，更加快了先进技术、先进生产工艺及先进设备引入的步伐。交流接触器的引进就是典型事例，我国从国外引进的先进交流接触器有：LC1—D 系列交流接触器、LC2—D 系列机械连锁交流接触器、3TB40 ~ 58 系列空气电磁式交流接触器。

2. 直流接触器

直流接触器的结构较交流接触器简单，它主要由铁心与衔铁、电磁线圈、触点系统和灭弧装置等组成。直流接触器主要用于 600V 及以下、额定电流在 1500A 及以下的各种直流电力线路的接通与分断，直流电动机的频繁起动、停止、换向、反接制动、调速之用。

常用的直流接触器有：CZ0 系列、CZ16 系列、CZ16 系列。

6.4.3 熔断器的选择

常用的熔断器有瓷插式熔断器、螺旋式熔断器、封闭式熔断器及快速熔断器。

1）常用瓷插式熔断器为 RC1A 系列，它为 RC1 瓷插式熔断器的换代产品。

2）螺旋式熔断器的代表产品为 RL1 系列。

3）封闭式熔断器可分为两种：一种是无填料封闭式熔断器；另一种是有填料封闭式熔断器。无填料封闭式熔断器主要代表品为 RM10 系列；有填料封闭式熔断器主要代表品为 RM10 系列。

4）快速熔断器的外形结构与螺旋式熔断器相同，它是为了防止硅半导体器件由于电路的短路造成损坏而设计的一种能在极短的时间内切断电路的短路保护器材，具有熔断迅速、

结构简单、工作可靠等特点。主要用于硅半导体整流器件的短路保护和过电流保护。例如晶闸管整流、晶闸管调压、晶闸管电力变换等。常用的快速熔断器有 RLS1、RLS2、RS0、RS3 等系列。

熔断器选择包括熔断器种类、额定电压、熔断器额定电流和熔体额定电流等内容。而关键是选择确定熔体额定电流。熔体额定电流与负载性质有关，下面将分别予以介绍。

1）对电灯照明，电阻炉等平稳负载，熔体额定电流等于或略大于实际负载电流。对输配电线路，熔体的额定电流应等于或略小于电路的安全电流。

2）对于异步电动机：

①单台时：$$I_{Nr} = (1.5 \sim 2.5) I_{Nd}$$

式中，I_{Nr}为熔体额定电流；I_{Nd}为电动机额定电流。

②多台时：$$I_{Nr} = (1.5 \sim 2.5) I_{Nmax} + \Sigma I_{Nd}$$

式中，I_{Ndmax}为容量最大的一台电动机的额定电流；ΣI_{Nd}为其余各台电动机额定电流之和。

6.4.4　常用控制电器的选择

控制电器又称为“主令电器”，是专门控制其他电器执行电路通断的元件。常用的控制电器有按钮、行程开关等。

（1）按钮

按钮的结构形式有多种，并有不同颜色。按钮的的选择应遵循如下原则：

1）根据用途和使用场合选择型号和型式。

2）按工作状态指示和工作情况的要求选择按钮和指示灯的颜色。

3）按控制电路的需要选定钮数。

（2）行程开关

行程开关又称为“位置开关”或“限位开关”。常用位置开关有 LX19、LX21、LX22、JLXK1 及 JLXW5 系列。

位置开关的选择主要考虑其结构型式、触点数目、电压电流等级等因素。

6.4.5　常用低压开关的选择

低压开关在机床中是最常用的一种电器，几乎任何一个控制电路都离不开低压开关。机床中使用的低压开关主要有刀开关、组合开关、断路器等。

1. 刀开关的选择

刀开关又可分为胶盖瓷底刀开关和封闭式负荷开关。常用的胶盖瓷底刀开关为 HK1 和 HK2 系列。

选择刀开关时应根据它在电路中的作用和它在成套配电装置中的安装位置来确定它的结构形式。刀开关的额定电流，一般应等于或大于所关断电路中的各个负载额定电流的总和。若负载是电动机，则要考虑其起动电流，故应选用额定电流大一级的刀开关。

2. 组合开关的选择

组合开关实际上也称“转换开关”。在实际应用中，组合开关又可分为无限位型组合开关和有限位型组合开关；另外还有一种“万能转换开关”。

1）常用的无限位型组合开关为 HZ10 系列，主要用于生产设备中电源的引入开关，交

流频率50Hz、电压380V及以下，直流220V及以下的电气设备中作不频繁接通、断开电路之路；以及转换电源或负载，测量三相电压，调节电加热器的并、串联和作为电动机功率小于5.5kW时的不频繁直接起动和停止之用。

2）常用的有限位型组合开关为HZ3系列。有限位型组合开关指的是组合开关的手柄在正、反转时，其转动位置是受限制的。有限位型组合开关又称“倒顺开关”，它分为3档：即“停”、“正转”、“反转”档。通常情况下，“停”档在中间位置，从“停”档搬到“正转”档位置，组合开关手柄转动45°空间角度，电路上接通负载（电动机）的正转电源；从“停”档搬到“反转”档位置，组合开关手柄向相反的方向转动45°空间角度，电路上接通负载（电动机）的反转电源；因此，它主要用于交流50Hz、电压380V的电路中作为引入开关，及功率小于5.5kW的小型异步电动机的正转、反转控制双速异步电动机的变速控制。

组合开关主要根据电源种类，电压等级及电动机容量来选用。其额定电流选择时要考虑负载类型。当用于照明或电热电路时，组合开关的额定电流应等于或大于被控制电路中各负载电流的总和。当用于电动机电路时，组合开关的额定电流一般取电动机额定电流的1.5～2.5倍。

3）万能转换开关主要作为控制电路的转换及配电设备的远距离控制，亦可作为小容量电动机的起动、制动、换向控制。常用的有LW5、LW6系列。万能转换开关主要是根据工作电压和工作电流选用合适的系列，按控制要求选触点数量及手柄形式和定位特征。

3. 断路器的选择

断路器俗称为自动开关，常用的有DZ5、DZ10、DZ12、DZ13、DZ15、DZ20、DZ23、C45N、C45AD、NC100等系列，其中DZ5、DZ10、DZ12系列在过去应用较为广泛。目前，由于先进新产品的不断涌现，用户更趋向宠爱优质的新产品，例如DZ23、C45N、C45AD、NC100等系列。

选择自动开关时应考虑额定电压、额定电流及允许切断的极限电流等，断路器脱扣器的额定电流应等于或大于负载允许的长期平均电流，断路器的极限分断能力要大于或等于电路最大短路电流。作电动机保护使用时，长延时电流整定值等于电动机额定电流。电动机额定电流6倍长延时，电流整定值的可延时时间大于或等于电动机实际起动时间。对笼型电动机，瞬时整定电流等于8～15倍的电动机额定电流。

6.4.6　电磁铁的选择

电磁铁在机床等自动控制系统中是一种将电磁能转换为机械能的电气元件，它主要由接触器或继电器控制其电源的通断。电磁铁有直流和交流之分，机床上常用的电磁铁按其作用可分为牵引电磁铁、制动电磁铁和阀用电磁铁等。

1. 牵引电磁铁的选择

牵引电磁铁在机床等自动控制系统中主要用做推斥或牵引机械装置。它主要由铁心、衔铁及线圈组成。线圈通电后，由铁心吸引衔铁，对机械装置进行牵引。

常用的牵引电磁铁有MQ1、MQ3系列。

2. 制动电磁铁的选择

制动电磁铁和牵引电磁铁没有本质上的区别，也都是由线圈通电后，铁心产生吸力，吸引衔铁，由衔铁牵引抱闸装置，对电动机进行抱闸或松开抱闸。制动电磁铁有交流、直流之

分；单相、三相之分；还有通电抱闸和断电抱闸之分。一般情况下采用断电抱闸电磁铁，即电动机通电时，制动电磁铁线圈也得电，此时抱闸松开；当电动机失电时，制动电磁铁线圈也失电，抱闸装置在弹簧力的作用下，将电动机轴抱住，制动电动机，使电动机迅速停转。

制动电磁铁一般用于机床、起重设备控制的制动中，常用的有单相电磁铁 MZD1 系列及三相电磁铁 MZS1 系列。

3. 阀用电磁铁

阀用电磁铁主要应用于电磁换向阀中。电磁换向在机床的液压系统中常用来改变液体的流动方向、液体分配、接通及关闭油路等。

换向阀有各种结构，如：二位二通、二位四通、三位四通、三位五通等。所谓的二位二通，就是换向阀的阀芯可以在电磁铁的作用下处于阀体中的两个不同位置，但只有两个通口，即一进一出。

阀用电磁铁有交流和直流之分，视其控制系统所用电源而选定。

电磁铁的选择应根据其作用、使用场合、技术参数等综合考虑决定。

6.4.7　控制变压器的选择

选择控制变压器主要是确定其容量。

从保证已经吸合的那些电器在起动其他电器吸合时仍能保证都可靠吸合的原则考虑，可用下式确定其容量：

$$P_B \geqslant 0.6\Sigma P_{xc} + 0.25\Sigma P_{qdj} + 0.125\Sigma P_{qd}$$

式中，P_B 为控制变压器容量（VA）；P_{xc}为电磁器件的吸持功率（VA），见表 6-43；P_{qdj}为继电器、接触器起动功率（VA）；P_{qd}为电磁铁起动功率（VA）。

从控制变压器长期运行的温升来考虑，这时变压器容量应大于或等于最大工作负荷的功率，可用下式确定其容量：

$$P_B \geqslant K_f \Sigma P_{xc}$$

式中，K_f 为变压器容量的储备系数，一般 K_f 取 1.1～1.5。

当电动机和所有的电气元件选定之后，就可以制订出机床电动机和电气元件明细表。

6.5　生产设备电气控制系统的工艺设计

在完成电气原理设计及电气元件选择之后，就应进行电气控制的工艺设计，目的是为了满足电气控制设备的制造和使用等要求。

电气控制系统工艺设计内容包括以下几点：

1）电气控制设备总体配置，即总装配图、总接线图。

2）电气控制各部分的电器装配图与接线图，并列出各部分的元件目录清单等技术资料。

3）电气控制设备使用、维修说明书。

6.5.1　电气设备总体配置设计

电气设备中各种电动机及各类电气元件根据各自的作用，都有一定的装配位置，在构成

一个完整的自动控制系统时，必须划分组件。以龙门刨床为例，可划电器部分（各拖动电动机，抬刀机构电磁铁，各种行程开关和控制站等）、机组部件（交磁放大机组，电动发电动机组等）以及电气箱（各种控制电气、保护电器、调节电器等）。根据各部分的复杂程度又可划分成若干组件，如印制电路组件、电器安装板组件、控制面板组件、电源组件等。同时要解决组件之间、电气箱之间以及电气箱与被控制装置之间的连线问题。

1. 划分组件的原则

1）功能类似的元件组合在一起。例如用于控制操作的各类按钮、开关、键盘、指示检测、调节等元件集中为控制面板组件，各种继电器、接触器、熔断器、照明变压器等控制电器集中为电气板组件，各类控制电源、整流、滤波元件集中为电源组件等。

2）尽可能减少组件之间的连线数量，接线关系密切的控制电器置于同一组件中。

3）强弱电控制器分离，以减少干扰。

4）力求整齐美观，外形尺寸、重量相近的电器组合在一起。

5）便于检查与调试，需经常调节、维护和易损元件组合在一起。

2. 电气控制设备的各部分及组件之间的接线方式

1）电器板、控制板，机床电器的进出线一般采用接线端子（按电流大小及进出线数选用不同规格的接线端子）。

2）电器箱与被控制设备或电气箱之间采用多孔接插件，便于拆装、搬运。

3）印制电路板及弱电控制组件之间宜采用各种类型标准接插件。

总体配置设计是以生产设备电气控制系统的总装配图与总接线图形式来表达的。图中应以示意形式反映出机电设备部分主要组件的位置及各部分接线关系，走线方式及使用管线要求等。

总装配图、接线图是进行分部设计和协调各部分组成一个完整系统的依据。总体设计要使整个系统集中、紧凑，同时在场地允许条件下，对发热严重、噪声和振动大的电气部件，如电动机组、起动电阻箱等尽量放在离操作者较远的地方或隔离起来；对于多工位加工的大型设备，应考虑两地操作的可能；总电源紧急停止控制应安放在方便而明显的位置。总体配置设计合理与否将影响到生产设备电气控制系统工作的可靠性，并关系到生产设备电气系统的制造、装配、调试、操作以及维护是否方便。

6.5.2 电气元件布置图的设计及电器部件接线图的绘制

总体配置设计确定了各组件的位置和连线后，就要对每个组件中的电气元件进行设计，生产设备电气元件的设计图包括布置图、接线图、电气箱及非标准零件图的设计。

1. 生产设备电气元件布置图

生产设备电气元件布置图是依据生产设备电控总原理图中的部件原理图设计的，是某些电气元件按一定原则的组合。布置图是根据电气元件的外形绘制，并标出各元件间距尺寸。每个电气元件的安装尺寸及其公差范围，应严格按产品手册标准标注，作为底板加工依据，以保证各电器的顺利安装。

同一组件中电气元件的布置要注意的问题如下：

（1）体积大和较重的电气元件应装在电器板的下面，而发热元件应安装在电器板的上面。

（2）强弱电分开并注意弱电屏蔽，防止外界干扰。

（3）需要经常维护、检修、调整的电气元件安装位置不宜过高或过低。

（4）电气元件的布置应考虑整齐、美观、对称，外形尺寸与结构类似的电器安放在一起以利加工、安装和配线。

（4）电气元件布置不宜过密，要留有一定的间距，若采用板前走线槽配线方式，应适当加大各排电器间距，以利布线和维护。

各电气元件的位置确定以后，便可绘制电气布置图。在电气布置图设计中，还要根据本部件进出线的数量（由部件原理图统计出来）和采用导线规格，选择进出线方式，并选用适当接线端子板或接插件，按一定顺序标上进出线的接线号。

2. 生产设备电气部件接线图

生产设备电气部件接线图是部件中各电气元件的接线图。电气元件的接线要注意的问题如下。

1）接线图和接线表的绘制应符合 GB 6988—1986 中《电气制图接线图和接线表》的规定。

2）电气元件按外形绘制，并与布置图一致，偏差不要太大。

3）所有电气元件及其引线应标注与电气原理图中相一致的文字符号及接线号。

4）与电气原理图不同，在接线图中同一电气元件的各个部分（触点、线圈等）必须画在一起。

5）电气接线图一律采用细线条，走线方式有板前走线及板后走线两种，一般采用板前走线。对于简单电气控制部件，电气元件数量较少，接线关系不复杂，可直接画出元件间的连线。但对于复杂部件，电气元件数量多，接线较复杂的情况，一般是采用走线槽，只需在各电气元件上标出接线号，不必画出各元件间连线。

6）接线图中应标出配线用的各种导线的型号、规格、截面积及颜色要求。

7）部件的进出线除大截面导线外，都应经过接线端子板，不得直接进出。

3. 生产设备电气箱及非标准零件图的设计

在生产设备电气控制系统比较简单时，控制电器可以附在生产设备机械内部，而在控制系统比较复杂或由于生产环境及操作的需要，通常都带有单独的机床电气控制箱，以利于制造、使用和维护。

生产设备电气控制箱设计要考虑电气箱总体尺寸及结构方式、方便安装、调整及维修要求并利于箱内电器的通风散热。

大型生产设备控制系统，电气箱常设计成立柜式或工作台式，小型生产设备控制设备则设计成台式、手提式或悬挂式。

6.5.3　清单汇总和说明书的编写

在生产设备电气控制系统原理设计及工艺设计结束后，应根据各种图纸，对本机床需要的各种零件及材料进行综合统计，按类别绘出外购成品件汇总清单表、标准件清单表、主要材料消耗定额表及辅助材料消耗定额表。

生产设备电气控制系统设计及使用说明书是设计审定及调试、使用、维护生产设备过程中必不可少的技术资料。生产设备电气控制系统设计及使用说明书应包含如下主要内容：

1）拖动方案选择依据及本设计的主要特点。

2）电气控制系统设计主要参数的计算过程。

3）电气控制系统各项技术指标的核算与评价。

4）电气控制系统设备调试要求与调试方法。

5）电气控制系统使用、维护要求及注意事项。

6.6　C6163 型卧式车床电气控制系统的设计案例

3.6.1　C6163 卧式车床的主要结构及设计要求

（1）主要结构

CW6163 型卧式车床实物图如图 6-15 所示，属于普通的小型车床，性能优良，应用较广泛。其主轴运动的正、反转由两组机械式摩擦片离合器控制，主轴的制动采用液压制动器，进给运动的纵向左右运动、横向前后运动及快速移动均由一个手柄操作控制。可完成工件最大车削直径为 630mm，工件最大长度为 1500mm。

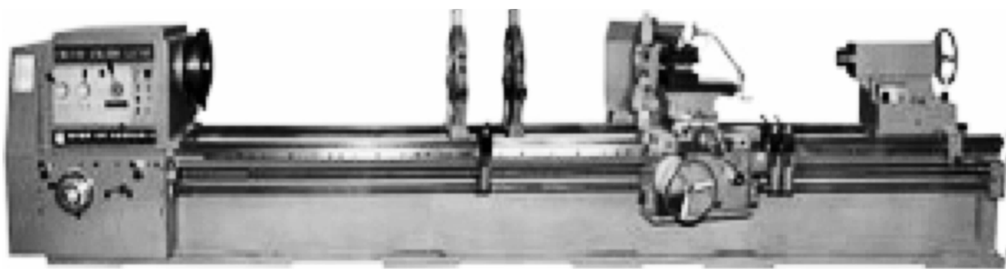


图 6-15　CW6163 型卧式车床实物图

（2）对电气控制的要求

1）根据工件的最大长度要求，为了减少辅助工作时间，要求配备一台主轴运动电动机和一台刀架快速移动电动机，主轴运动的起、停要求两地点操作控制。

2）车削时产生的高温，可由一台普通冷却泵电动机加以控制。

3）根据整个生产线状况，要求配备一套局部照明装置及必要的工作状态指示灯。

（3）电动机的选择

根据设计要求，由机械主体设计计算得知，本设计需配备 3 台电动机，各自分别为：

1）主轴电动机 M1：型号选定为 Y160M—4，性能指标为：11kW、380V、22.6A、1460r/min。

2）冷却泵电动机 M2：型号选定为 JCB—22，性能指标为：0.125kW、380V、0.43A、2790r/min

3）快速移动电动机 M3：型号选定为 Y90S—4，性能指标为：1.1kW、380V、2.7A、1400r/min。

6.6.2　C6163 卧式车床电气控制电路图的设计

1. 主电路设计

（1）主轴电动机 M1

根据设计要求，主轴电动机的正、反转由机械式摩擦片离合器加以控制，且根据车削工艺的特点，同时考虑到主轴电动机的功率较大，最后确定 M1 采用单向直接起动控制方式，由接触器 KM 进行控制。对 M1 设置过载保护（FR1），并采用电流表 PA 根据指示的电流监视其车削量。由于向车床供电的电源要装熔断器，所以电动机 M1 没有用熔断器进行短路保护。

（2）冷却泵电动机 M2 及快速移动电动机 M3

由于 M2 和 M3 的功率及额定电流均较小，因此可用交流中间继电器 K1 和 K2 来进行控制。在设置保护时，考虑到 M3 属于短时运行，故不需设置过载保护。

综合以上的考虑，可绘出 CW6163 型卧式车床的主电路图如图 6-16 所示。

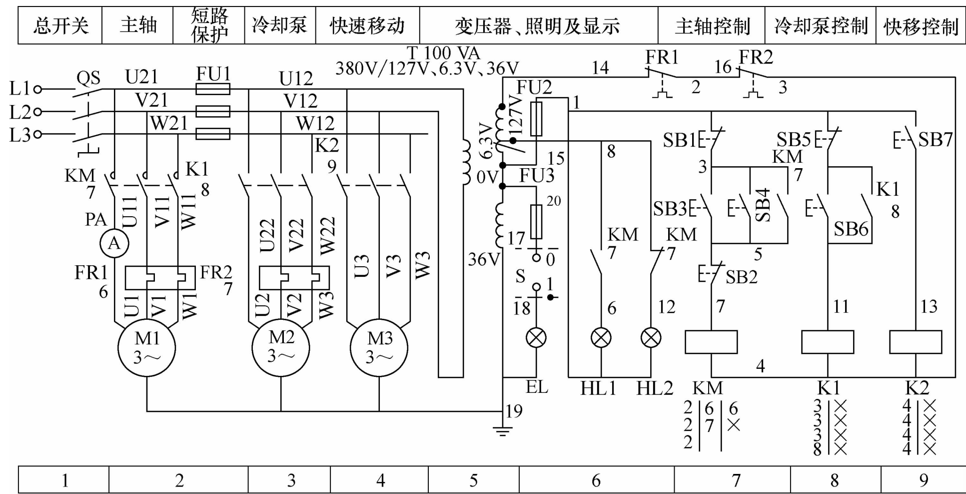


图 6-16　CW6163 型卧式车床的电气原理图

2. 控制电路的设计

（1）主轴电动机 M1 的控制设计

根据设计要求，主轴电动机要求实现两地控制。因此，可在机床的床头操作板上和刀架拖板上分别设置起动按钮 SB3、SB4 和停止按钮 SB1、SB2 来进行控制。

（2）冷却泵电动机 M2 和快速移动电动机 M3 的控制设计

根据设计要求和 M2、M3 需完成的工作任务，确定 M2 采用单向起、停控制方式，M3 采用点动控制方式。

综合以上的考虑，设计出 CW6163 型卧式车床的控制电路如图 6-16 所示。

3. 局部照明及信号指示电路的设计

局部照明设备用照明灯 EL、灯开关 S 和照明回路熔断器 FU3 来组合。

信号指示电路由两路构成：一路为三相电源接通指示灯 HL2（绿色），在电源开关 QS

接通以后立即发光，表示机床电气电路已处于供电状态；另一路指示灯 HL1（红色），表示主轴电动机是否运行。两路指示灯 HL1 和 HL2 分别由接触器 KM 的动合和动断触点进行切换通电显示。

由此，设计出 CW6163 型卧式车床的照明及信号指示电路图如图 6-16 所示。

6.6.3 C6163 卧式车床电气元件的选择

在电气原理图设计完毕之后就可以根据电气原理图进行电气元件的选择工作。本设计案例中需选择的电气元件如下：

（1）电源开关 QS 的选择

QS 的作用主要是用于电源的引入及控制 M1 ~ M3 起、停和正、反转等。因此 QS 的选择主要考虑电动机 M1 ~ M3 的额定电流和起动电流。由已知 M1 ~ M3 的额定电流数值，通过计算可得额定电流之和为 25.73A，同时考虑到，M2、M3 虽为满载起动，但功率较小；M1 虽功率较大，但为轻载起动。所以，QS 最终选择组合开关：HZ10—25/3 型，额定电流为 25A。

（2）热继电器 FR 的选择

根据电动机的额定电流进行热继电器的选择。

由 M1 和 M2 的额定电流，现选择如下：

FR1 选用 JR0—40 型热继电器。热元件额定电流 25A，额定电流调节范围为 16 ~ 25A，工作时调整在 22.6A。

FR2 选用 JR0—40 型热继电器。热元件额定电流 0.64A，额定电流调节范围为 0.4 ~ 0.64A，工作时调整在 0.43A。

（3）接触器 KM 的选择

根据负载电路的电压、电流，接触器所控制电路的电压及所需触点的数量等来进行接触器的选择。

本设计案例中，KM 主要对 M1 进行控制，而 M1 的额定电流为 22.6A，控制电路电源为 127V，需主触点三对，辅助动合触点两对，辅助动断触点一对。所以，KM 选择 CJ20—40 型接触器，主触点额定电流为 40A，线圈电压为 127V。

（4）中间继电器的选择

本设计案例中，由于 M2 和 M3 的额定电流都很小，因此，可用交流中间继电器代替接触器进行控制。这里，K1 和 K2 均选择 JZ7—44 型交流中间继电器，动合动断触点各 4 个，额定电流为 5A，线圈电压为 127V。

（5）熔断器的选择

根据熔断器的额定电压、额定电流和熔体的额定电流等进行熔断器的选择。

本设计案例中涉及的熔断器有三个：FU1、FU2、FU3。这里主要分析 FU1 的选择，其余类似。

FU1 主要对 M2 和 M3 进行短路保护，M2 和 M3 的额定电流分别为 0.43A、2.7A。因此，熔体的额定电流为

$$I_{FU1} \geqslant (1.5 \sim 2.2) I_{Nmax} + \Sigma I_N$$

计算可得 $I_{FU1} \geqslant 7.18A$，因此，FU1 选择 RL1—15 型熔断器，熔体为 10A。

（6）按钮的选择

根据需要的触点数目、动作要求、使用场合、颜色等进行按钮的选择。

本设计案例中，SB3、SB4、SB6 选择 LA—18 型按钮，颜色为黑色；SB1、SB2、SB5 也选择 LA—18 型按钮，颜色为红色；SB7 的选择型号相同，但颜色为绿色。

（7）照明及指示灯的选择

照明灯 EL 选择 JC2 型，交流 36V、40W，与灯开关 S 成套配置；指示灯 HL1 和 HL2 选择 ZSD—0 型，指标为 6.3V、0.25A，颜色分别为红色和绿色。

（8）控制变压器的选择

变压器的具体计算、选择请参照有关书籍。本设计案例中，变压器选择 BK—100VA，380V/127V、36V、6.3V。

综合以上的选择，给出 CW6163 型卧式车床的电气元件明细见表 6-2。

表 6-2　CW6163 型卧式车床的电气元件明细

符　号	名　称	型　号	规　格	数　量
M1	三相异步电动机	Y160M—4	11kW，380V，22.6A，1460r/min	1
M2	冷却泵电动机	JCB—22	0.125kW，0.43A，2790r/min	1
M3	三相异步电动机	Y90S—4	1.1kW，2.7A，1400r/min	1
QS	组合开关	HZ10—25/3	三极，500V，25A	1
KM	交流接触器	CJ20—40	40A，线圈电压 127V	1
K1、K2	交流中间继电器	JZ7—44	5A，线圈电压 127V	2
FR1	热继电器	JR0—40	热元件额定电流 25A，整定电流 22.6A	1
FR2	热继电器	JR0—40	热元件额定电流 0.64A，整定电流 0.43A	1
FU1	熔断器	RL1—15	500V，熔体 10A	1
FU2，FU3	熔断器	RC1—15	500V，熔体 2A	2
T	控制变压器	BK—100	100VA，380V/127V、36V、6.3V	1
SB3、SB4、SB6	控制按钮	LA—18	5A，黑色	3
SB1、SB2、SB5	控制按钮	LA—18	5A，红色	3
SB7	控制按钮	LA—18	5A，绿色	1
HL1、HL2	指示灯	ZSD—0	6.3V，绿色 1，红色 1	2
EL、S	照明灯及灯开关		36V，40W	2
PA	交流电流表	62 T2	0～50A，直接接入	1

6.6.4　绘制电气元件布置图和电气安装接线图

依据电气原理图的布置原则，结合 CW6163 型卧式车床的电气原理图的控制顺序对电气元件进行合理布局，目标是：连接导线最短，导线交叉最少。

电气元件布置图完成之后，再依据电气安装接线图的绘制原则及相应的注意事项进行电气安装接线图的绘制。这样，所绘制的电气元件布置图如图 6-17 所示，电气安装接线图如图 6-18 所示，电气接线图中管内敷线明细见表 6-3。

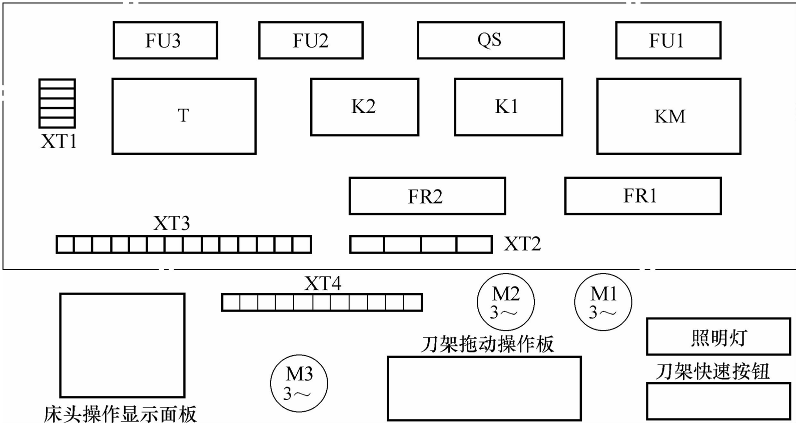


图 6-17　CW6163 型卧式车床电气元件布置图

表 6-3　CW6163 型卧式车床的电气接线图中管内敷线明细

代号	穿线用管（或电缆类型）内径 /mm	电线		接线号
		截面积/mm^2	根数	
#1	内径 15 聚氯乙烯软管	4	3	U1、V1、W1
#2	内径 15 聚氯乙烯软管	4	2	U1、U11
		1	7	1、3、5、6、9、11、12
#3	内径 15 聚氯乙烯软管	1	13	U2、V2、W2、U3、V3、W3、1、3、5、7、13、17、19
#4	G3/4（in）螺纹管			
#5	15 金属软管	1	10	U3、V3、W3、1、3、5、7、13、17、19
#6	内径 15 聚氯乙烯软管	1	8	U3、V3、W3、1、3、5、7、13
#7	18×16mm^2 铝管			
#8	11 金属软管	1	2	17、19
#9	内径 8 聚氯乙烯软管	1	2	1、13
#10	YHZ 橡套电缆	1	3	U3、V3、W3

6.6.5　检查和调整电气元件

根据电气元件明细表中所列的元件，配齐电气设备和电气元件，并结合前面所讲述的内容，逐件对其检验、检查和调整电气元件。

6.6.6　电气控制柜的安装配线

1）制作安装底板。CW6163 型卧式车床电气线路较复杂，根据电气安装接线图，其制作的安装底板有柜内电器板（配电盘）、床头操作显示面板和刀架拖动操作板共三块，对于柜内电器板，可以采用 4mm 厚的钢板或其他绝缘板作其底板。

2）选配导线。根据车床的特点，其电气控制柜的配线方式选用明配线。根据 CW6163 型卧式车床的电气接线图中管内敷线明细表中已选配好的导线进行配线。

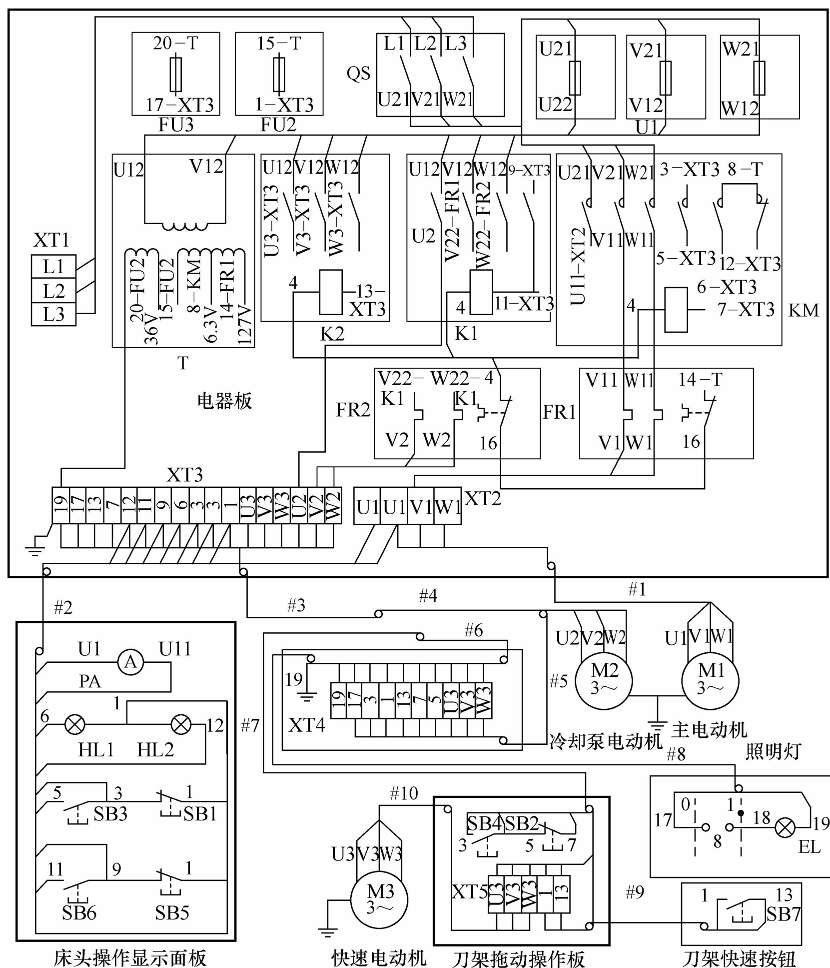


图 6-18　CW6163 型卧式车床电气安装接线图

3）规划安装线和弯电线管。根据安装的操作规程，首先在底板上规划安装的尺寸以及电线管的走向线，并根据安装尺寸锯电线管，根据走线方向弯管。

4）安装电气元件。根据安装尺寸线进行钻孔，并固定电气元件。

5）电气元件的编号。根据车床的电气原理图给安装完毕的各电气元件和连接导线进行编号，给出编号标志。

6）接线。根据接线的要求，先接控制柜内的主电路、控制电路，再接柜外的其他电路和设备，包括床头操作显示面板、刀架拖动操作板、电动机和刀架快速按钮等。特殊的、需外接的导线接到接线端子排上，引入车床的导线需用金属导管保护。

6.6.7　电气控制柜的安装检查

1）常规检查。根据 CW6163 型卧式车床的电气原理图及电气安装接线图，对安装完毕的电气控制柜逐线检查，核对线号，防止错接、漏接；检查各接线端子的情况是否有虚接情况，以及时改正。

2）用万用表检查。在不通电的情况下，用欧姆档进行电路的通断检查。具体如下：

①检查控制电路。断开电动机 M1 的主电路接在 QS 上的三根电源线 U21、V21、W21，再断开 FU1 之后与电动机 M1、M2 的主电路有关的三根电源线 U12、V12、W12，用万用表的 R×100 档，将两个表笔分别接到熔断器 FU1 两端，此时电阻应为零，否则有断路现象；各个相间，电阻应为无穷大；断开 1、14 两条连接线，分别按下 SB3、SB4、SB6、SB7，若测得一电阻值（依次为 KM、K1、K2 的线圈电阻），则 6-18 接线正确；按下接触器 KM、K1 的触点架，此时测得的电阻仍为 KM、K1 的线圈电阻，则 KM、K1 自锁起作用，否则，KM、K1 的动合触点可能虚接或漏接。

②检查主电路。接上主电路的三根电源线，断开控制电路（取出 FU1 的熔芯），取下接触器的灭弧罩，合上开关 QS 将万用表的两个表笔分别接到 L1—L2、L2—L3、L3—L1，此时测得的电阻应为无穷大；若某次测得为零，则说明对应两相接线短路；按下接触器 KM 的触点架，使其动合触点闭合，重复上述测量，则测得的电阻应为电动机 M1 两相绕组的阻值，三次测的结果应一致，否则应进一步检查。

将万用表的两个表笔分别接到 U12—V12、V12—W12、W12—U12 之间，此时测得的电阻应为无穷大，否则有短路；分别按下中间继电器 K1、K2 的触点架，使其动合触点闭合，重复上述测量，则测得的电阻应分别为电动机 M2、M3 两相绕组的阻值，三次测的结果应一致，否则应进一步检查。

经上述检查如发现问题，应结合测量结果，分析电气原理图，排除故障之后再进行以下的步骤。

6.6.8 电气控制柜的调试

经以上检查准确无误后，可进行通车试车。

（1）空操作试车

断开图 6-18 中 M1 主电路接在 QS 上的三根电源线 U21、V21、W21 和 M2、M3 主电路接在 FU1 之后的三根电源线 U12、V12、W12，合上电源开关 QS，使得控制电路得电。按下起动按钮 SB3 或 SB4，KM 应吸合并自锁，指示灯 HL1 应亮；按下 SB2 或 SB1，KM 应断电释放，指示灯 HL2 应亮。合上开关 S，局部照明灯 EL 应亮，断开 S，照明灯 EL 则灭。K1、K2 的检查类同。

（2）空载试车

第一步通过之后，断电接上 U12、V12、W12，然后送电，合上 QS。按下 SB3 或 SB4，观察主轴电动机 M1 的转向、转速是否正确；再接上 U21、V21、W21，按下 SB6 和 SB7，观察冷却泵电动机 M2 和快速移动电动机 M3 的转向、转速是否正确。空载试车时，应先拆下连接主轴电动机和主轴变速箱的传动带，以免转向不正确损坏传动机构。

（3）带负荷试车

在机床电气线路和所有机械部件安装调试后，按照 CW6163 型卧式车床的各项性能指标及工艺要求，进行逐项试车。

6.6.9 文档工作

编制 CW6163 型卧式车床的设计说明书和使用说明书，完善相关图纸和资料。（从略）。

6.7　生产设备的 PLC 控制系统设计

6.7.1　PLC 控制系统设计的基本原则

设计任何一个生产设备 PLC 控制系统，如同设计任何一种生产设备电气控制系统一样，其目的都是通过控制被控对象生产设备来实现其机械加工的生产工艺要求，提高生产效率和产品质量。因此，在设计 PLC 控制系统时，应遵循以下基本原则。

1）生产设备 PLC 控制系统应能控制生产设备最大限度地满足机床的生产工艺要求。设计前，应深入生产现场进行实地考查和调查研究，搜索资料，并与生产设备的机械设计人员和实际操作人员密切配合，共同拟定生产设备控制方案，协同解决设计中出现的各种问题。

2）在满足生产工艺要求的前提下，力求使 PLC 控制系统越简单、越经济、操作使用及维护维修越方便越好。

3）要充分保证 PLC 控制系统的安全和可靠性。

4）考虑到今后加工生产的可持续发展和生产设备工艺的不断改进，在配置 PLC 硬件设备时应适当留有一定的扩展容量。

6.7.2　PLC 控制系统设计的基本内容

生产设备 PLC 控制系统是由 PLC 与生产设备输入、输出设备连接而成的。因此，生产设备 PLC 控制系统设计的基本内容应包括以下主要内容：

1）选择生产设备输入设备（按钮、操作开关、限位开关、传感器等）、输出设备（继电器、接触器、信号灯等执行元件）以及由输出设备驱动的控制对象（电动机、电磁阀等）。这些设备属于一般的电气元件，其选择的方法在前面章节中已作了介绍。

2）PLC 的选择。PLC 是 PLC 控制系统的核心部件。正确选择 PLC 对于保证整个控制系统的技术经济性能指标将起着重要的决定性作用。选择 PLC，主要包括机型、容量的选择以及 I/O 模块、电源模块等的选择。

3）分配 I/O 点，绘制 PLC 的实际接线图。

4）控制程序设计，包括控制系统流程图、状态转移图、梯形图、语句表（即指令字程序清单）等设计。控制程序是控制整个生产设备系统工作的软件，是保证生产设备系统工作正常、安全、可靠的关键。因此，设计的生产设备控制程序必须经过反复调试、修改，直到满足机床生产工艺要求为止。

5）必要时还要设计生产设备控制台（柜）等。

6）编制生产设备 PLC 控制系统的技术文件。包括设计说明书、电气图及电气元件明细表。传统的电气图，一般包括电气原理图、电气布置图及电气安装图。在 PLC 控制系统中，这一部分图统称为“硬件图”。它在传统电气图的基础上增加了 PLC 部分，因此在电气图中应增加 PLC I/O 接口的实际接线图。

另外，在生产设备 PLC 控制系统中的电气图中还应包括控制程序图（梯形图），通常称它为“软件图”。向生产设备用户提供“软件图”，可便于生产设备用户在生产发展或工艺

改进时修改程序，并有利于生产设备用户在维护或维修时分析和排除故障。

6. 7. 3　PLC 控制系统设计的一般步骤

设计生产设备 PLC 控制系统的一般步骤如图 6-19 所示。主要包括：

1）根据生产的工艺过程分析控制要求，了解需要完成的动作（动作顺序、动作条件、必须的保护和联锁等）、操作方式（手动、自动；连续、单周期、单步等）。

2）根据控制要求确定所需要的输入、输出设备。据此确定 PLC 的 I/O 点数。

3）选择 PLC 机型及容量。

4）定义输入、输出点名称，分配 PLC 的 I/O 点，设计 PLC 的实际接线图。

5）根据 PLC 所要完成的任务及应具备的功能进行 PLC 程序设计，同时可进行控制台（柜）的设计和现场施工。

PLC 程序设计的步骤与内容有以下几点：

①对于较复杂的控制系统，可首先绘制出系统控制流程图或状态转移图，用图示方法清楚地表明动作的顺序和条件。对于简单的控制系统，也可省去这一步。

②设计梯形图。这是程序设计的关键一步，也是比较困难的一步。要设计好梯形图首先要十分熟悉机床的控制要求，同时还要有一定的电气设计的实践经验。

③将梯形图或根据梯形图编制的程序清单写入 PLC 中进行程序试和系统试运行。

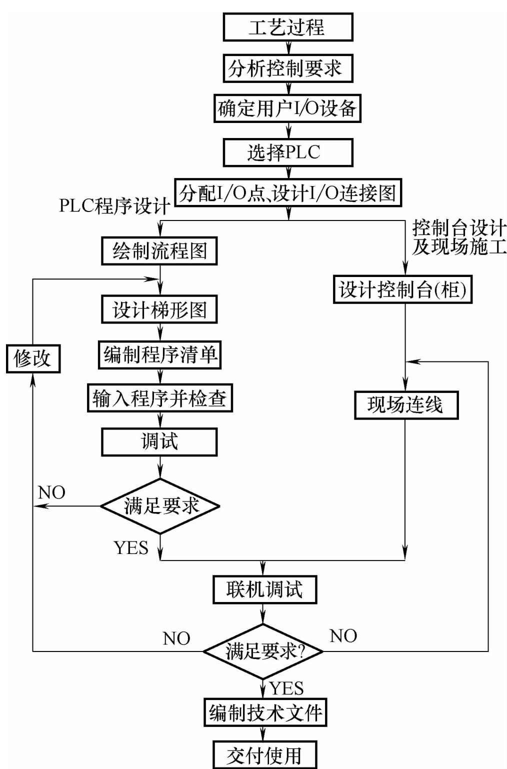


图 6-19　生产设备 PLC 控制系统设计步骤

6）待控制台（柜）设计及现场施上完成后，进行联机调试。如不满足要求，再修改程序或检查接线，直到满足要求为止。

7）编制系统设计说明书和使用维护维修说明书等技术文件。

8）经试生产后竣工验收，交付使用。

6. 7. 4　PLC 控制系统经典设计实例

实例 1　原有生产设备的 PLC 技术改造设计

学习 PLC 技术的一个突出重要应用就是能够对大量存在的原有生产设备进行技术改造设计，使其升级换代，发挥更大效用。下面就以某卧式镗床继电器-接触器控制系统为例，将其改造设计为 PLC 控制系统。

1. 移植设计法

对原有生产设备继电器控制系统进行 PLC 改造设计通常采用移植设计法。用 PLC 控制取代继电器控制已是大势所趋，用 PLC 改造继电器-接触器控制系统，即根据原有的继电器

电路图来设计 PLC 梯形图显然是一捷径。这是由于原有的继电器-接触器控制系统经过长期的使用和考验，已经被证明能完成系统要求的控制功能，而继电器电路图又与 PLC 的梯形图极为相似，因此可以将继电器电路图经过适当的“翻译”，直接转化为具有相同功能的 PLC 梯形图程序，所以将这种设计方法称为“移植设计法”或者“翻译法”。这种设计方法没有改变系统的外部特性，对于操作工人来说，除了控制系统可靠性提高了之外，改造前后的系统没有什么区别，他们不用改变长期形成的操作习惯。这种设计方法一般不需要改动控制面板及器件，因此可以减少硬件改造的费用和改造的工作量。

继电器电路图是一个纯硬件电路图。将它改造为 PLC 控制时，需要用 PLC 的外部接线图和梯形图来等效继电器电路图。可以将 PLC 想象成是一个控制箱，其外部接线圈描述了这个控制箱的外部接线，梯形图是这个控制箱的内部“电路图”，梯形图中的输入位和输出位是这个控制箱与外部世界联系的“接口继电器”，这样就可以用分析继电器电路图的方法来分析 PLC 控制系统。在分析梯形图时可以将输入位的触点想象成对应的外部输入器件的触点，将输出位的线圈想象成对应的外部负载的线圈。外部负载的线圈除了受梯形图的控制外，还能受外部触点的控制。

将继电器控制电路图转换成为功能相同的 PLC 控制外部接线图和梯形图的步骤如下：

1）了解和熟悉被控设备的工作原理、工艺过程和机械的动作情况，根据继电器电路图分析和掌握控制系统的工作原理。

2）确定 PLC 的输入信号和输出负载。继电器电路图中的交流接触器和电磁阀等执行机构如果用 PLC 的输出位来控制，它们的线圈在 PLC 的输出端。按钮、操作开关和行程开关、接近开关等提供 PLC 的数字量输入信号继电器电路图中的中间继电器和时间继电器的功能用 PLC 内部的存储器位和定时器来完成，它们与 PLC 的输入位、输出位无关。

3）选择 PLC 的型号,根据系统所需要的功能和规模选择 CPU 模块、电源模块、数字量输入和输出模块,对硬件进行组态,确定输入输出模块在机架中的安装位置和它们的起始地址。

4）确定 PLC 各数字量输入信号与输出负载对应的输入位和输出位的地址，画出 PLC 的外部接线图。各输入和输出在梯形图中的地址取决于它们的模块的起始地址和模块中的接线端子号。

5）确定与继电器电路图中的中间、时间继电器对应的梯形图中的存储器和定时器、计数器的地址。

6）根据上述的对应关系画出梯形图。

2. 原有的电气控制原理图

某卧式镗床继电器-接触器控制系统原有的电气控制原理图如图 6-20 所示，它包括主电路、控制电路、照明电路和指示电路。镗床的主轴电动机 M1 是双速异步电动机，中间继电器 KA1 和 KM2 控制主轴电动机的起动和停止；接触器 KM1 和 KM 2 控制主轴电动机的正反转；接触器 KM4、KM5 和时间继电器 KT 控制主轴电动机的变速；接触器 KM3 用来短接串在定子电路的制动电阻。SQ1、SQ2 和 SQ3、SQ4 是变速操纵盘上的限位开关，SQ5 和 SQ6 是主轴进刀与工作台移动互锁限位开关，SQ7 和 SQ8 是镗头架和工作台的正、反向快速移动开关。

3. PLC 控制的改造设计

在改造后设计的 PLC 控制系统外部接线图中，其主电路、照明电路和指示电路同原电

路保留不变，只是其控制电路的功能改由 PLC 实现。根据原控制电路中输入/输出信号的数量选择适用的 PLC，并进行 I/O 端口的地址分配，画出 PLC 控制的 I/O 实际接线图如图 6-21 所示。

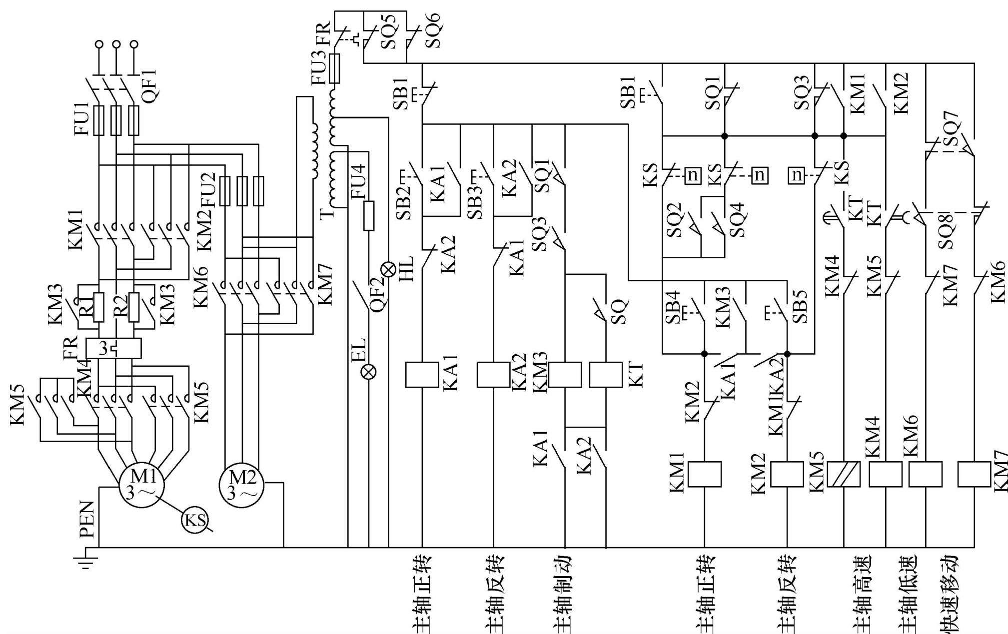


图 6-20　某卧式镗床继电器控制系统的电路图

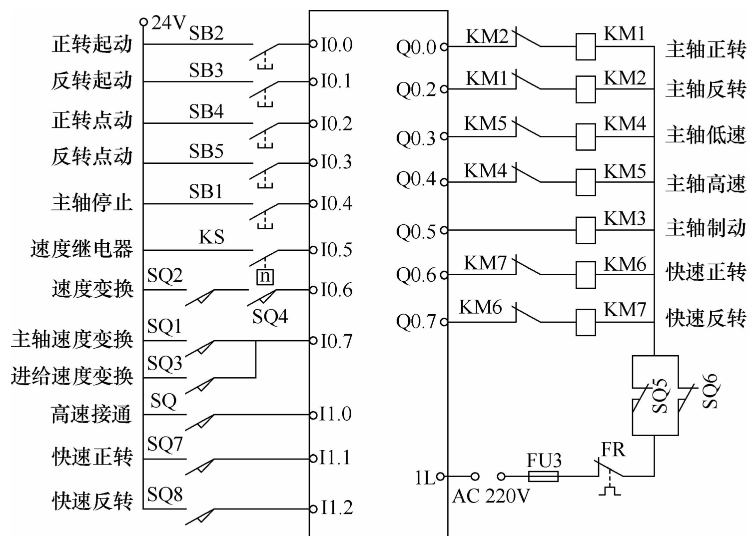


图 6-21　某卧式镗床 PLC 控制的 I/O 实际接线图

根据 PLC 的 I/O 对应关系，再加上原控制电路（图 6-20）中 KA1、KA2 和 KT 分别与 PLC 内部的 M300、M301 和 T37 相对应，可设计出 PLC 控制的用户程序如图 6-22 所示。

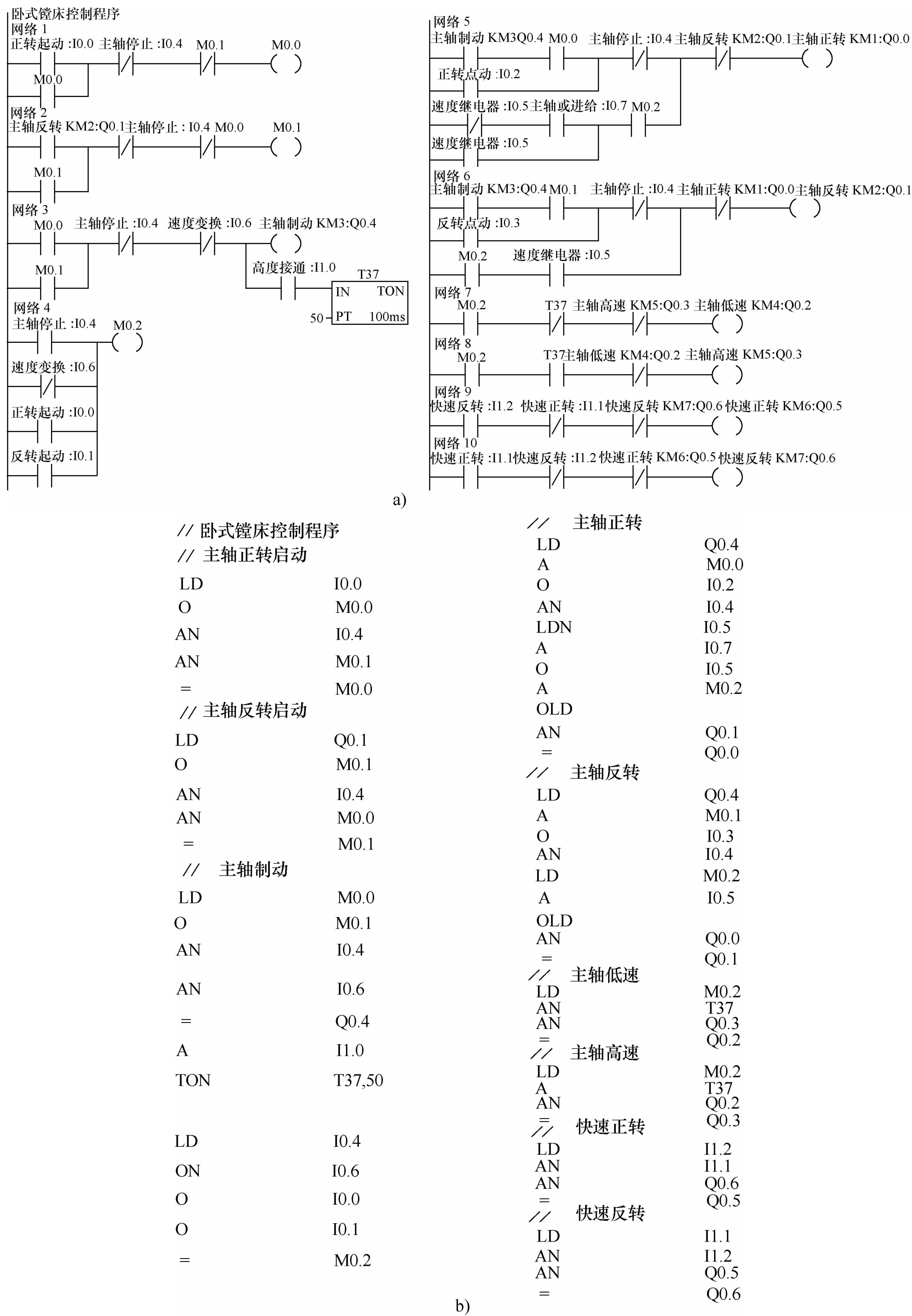


图 6-22　某卧式镗床的 PLC 控制

a）梯形图程序　b）语句表程序

4. 设计说明

设计过程中应注意梯形图与继电器电路图的区别。梯形图是一种软件，是 PLC 图形化的程序，PLC 梯形图是串行工作的，而在继电器电路图中，各电器可以同时动作（并行工作）。

根据原继电器控制电路图设计 PLC 控制的外部接线图和梯形图时应注意以下问题：

1）应遵守梯形图语言中的语法规定。由于工作原理不同,梯形图不能照搬继电器电路中的某些处理方法。例如在继电器电路中,依据原理触点是可以放在线圈两侧的(但不提倡，避免使用);但是在梯形图中,线圈必须放在电路的最右边(触点绝对不能放在线圈两侧)。

2）适当的分离继电器电路图中的某些电路。设计继电器电路图时的一个基本原则是尽量减少图中使用的触点的个数，因为这意味着成本的节约，但是这往往会使某些线圈的控制电路交织在一起；而在设计 PLC 控制梯形图时首要的问题是设计的思路要清楚，设计出的梯形图容易阅读和理解，并不是特别在意是否多用了几个触点，因为这不会增加硬件的成本，只是在输入程序时需要多花一些时间。

3）尽量减少 PLC 的输入和输出端子。PLC 的价格与 I/O 端子数有关，因此减少输入、输出信号的点数是降低硬件费用的主要措施。在 PLC 的外部输入电路中，各输入端可以接常开触点或常闭触点，也可以接触点组成的串、并联电路。PLC 不能识别外部电路的结构和触点类型，只能识别外部电路的通断。

4）代换时间继电器。物理时间继电器有通电延时型和断电延时型两种。通电延时型时间继电器其延时动作的触点有通电延时闭合和通电延时断开两种。断电延时型时间继电器，其延时动作的触点有断电延时闭合和断电延时断开两种。而在用 PLC 控制时，时间继电器可以用 PLC 的定时器或计数器或者是二者的组合来代替，使用方便灵活可靠、精度高。

5）设置中间单元。在梯形图中，若多个线圈都受某一触点串、并联电路的控制。为了简化电路，在梯形图中可以设置中间单元，即用该电路来控制某存储位，在各线圈的控制电路中使用其常开触点。这种中间元件类似于继电器电路中的中间继电器。

6）设立外部硬件互锁电路。控制异步电动机正反转的交流接触器如果同时动作，将会造成三相电源短路。为了避免出现这样的事故，应在 PLC 外部设置硬件互锁电路。

7）重新确定外部负载的额定电压。PLC 双向晶闸管输出模块一般只能驱动额定电压为 AC220V 的负载，如果系统原来的交流接触器的线圈电压为 380V，应换成 220V 的线圈，或是设置外部中间继电器进行电压转换。

实例 2　PLC 对变频器的控制应用设计

随着现代高新技术的日益发展和电子产品价格的不断降低，变频器在现代电气控制中的应用越来越广泛。变频器在现代电气控制系统中主要作为执行机构来使用，有的变频器还有闭环 PID 控制和时间顺序控制的功能。PLC 和变频器都是以计算机技术为基础的现代工业控制产品，将两者有机地结合起来，用 PLC 来控制变频器，是当代电气控制中经常遇到的问题。常见的控制要求有：

1）用 PLC 控制变频电动机的旋转方向、转速和加速、减速时间。

2）实现电动机的工频电源和变频电源之间的切换。

3）实现变频器与多台电动机之间的切换控制。

4）通过通信实现 PLC 对变频器的控制，将变频器纳入工厂自动化通信网络。

1. 变频器输出频率的控制

（1）PLC 控制变频器输出频率的方法

1）用 PLC 的模拟量输出模块提供变频器的频率给定信号。PLC 模拟量输出模块输出的直流电压电流信号送给变频器的模拟量转速给定输入端，用模拟量输出信号控制变额器的输出频率。这种控制方式的硬件接线简单，但是 PLC 的模拟量输出模块价格较高，模拟信号可能会受到干扰信号的影响。

2）用 PLC 的数字量输出信号有级调节变频器的输出频率。PLC 的数字量输出/输入点一般可以与变频器的数字量输入/输出点直接相连，这种控制方式的接线简单，抗干扰能力强。用 PLC 的数字量输出模块可以控制变频器的正反转、有级调节转速和加/减速时间。虽然只能有级调节，但是对于大多数系统，这也足够用了。

3）用串行通信提供频率给定信号。PLC 和变频器之间的串行通信除了可以提供频率给定信号外，还可以传送大量的参数设置信息和状态信息。S7—200 和西门子的变频器都带有 RS—485 通信接口，使用 USS 协议可实现 S7—200 与西门子变频器的通信。

4）用 PLC 的高速脉冲输出信号作为频率给定信号。某些变频器有高速脉冲输入功能，可以用 PLC 输出的高速脉冲的频率作为变频器的频率给定信号。

（2）与频率给定值有关的变频器参数设置

变频器通过参数设量，来确定接收频率指令的方法。以安川的 F7 系列为例，可以用参数 b1—01 设置 5 种频率指令的输入方法：

1）通过变频器的数字式操作器。

2）通过模拟量输入端子（如图 6-25 所示）A1，用电位器调节输入电压形式的频率给定值；通过端子 A2 可以输入电压或电流形式的频率给定值。

3）通过 Modbus 通信。

4）通过可选用的卡。

5）通过脉冲输入端子输入脉冲，脉冲信号是 PID 控制器的反馈值或设定值，用参数 H6—01 设置对应于 100% 变频器输出频率的脉冲频率值。

（3）变频器的转速和电动机旋转方向的控制

下面将通过一个案例介绍用 PLC 控制变频器的方法。

PLC 的输入点 I0.0 和 I0.1 用来接收按钮 SB1 和 SB2 的指令信号（如图 6-23 所示），通过 PLC 的输出点 Q0.0 和接触器 KM 控制变频器电源的接通和断开。

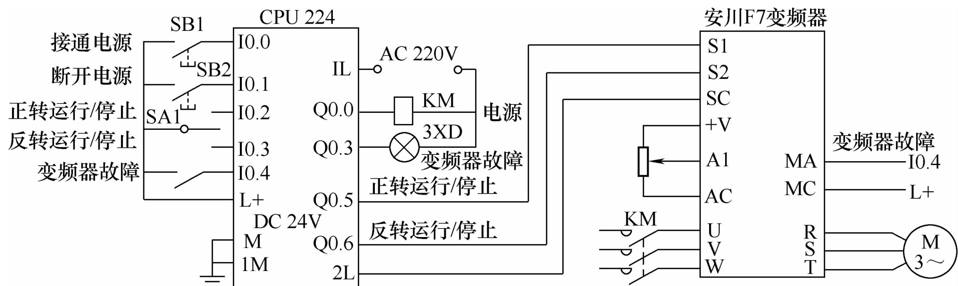


图 6-23　正反转控制电路

按下“接通电源”按钮 SB1，I0. 0 变为 1 状态，使 Q0. 0 置位，接触器 KM 的线圈得电，其主触点闭合，接通变频器的电源。

按下“断开电源”按钮 SB2，I0. 1 变为 1 状态，如果 I0. 2 和 I0. 3 均为 0 状态（SA1 在中间位置），变频器末运行，则 Q0. 0 被复位，使接触器 KM 线圈断电，其主触点断开，变频器电源被切断。变频器出现故障时，I0. 4 的常开触点接通，亦使 Q0. 0 复位，使变频器的电源断电，同时用 Q0. 3 显示变频器故障信号。

三位置旋钮开关 SA1 通过 I0. 2 和 I0. 3 控制电动机的正转、反转运行或停止。“正转运行/停止”开关接通时正转，断开时停机。“反转运行/停止”开关接通时反转，断开时停机。变频器的输出频率由接在模拟量输入端 A1 的电位器控制。

将 SA1 旋至“反转运行”位置，I0. 3 变为 1 状态，使 Q0. 6 动作，变频器的 S2 端子被接通，电动机反转运行。

将 SA1 旋至中间位置，I0. 2 和 I0. 3 均为 0 状态，使 Q0. 5 和 Q0. 6 的线圈断电，变频器的 S1 和 S2 端子都处于断开状态，电动机停机。

当电动机正转或反转时，I0. 2 或 I0. 3 的常闭触点断开，使 SB2 对应的 I0. 1 不起作用，以防止在电动机运行时切断变频器的电源（如图 6-24 所示）。

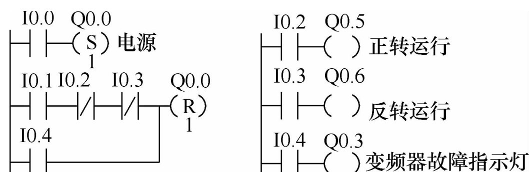


图 6-24　正反转控制的梯形图

（4）电动机的多段转速与升降速时间的控制

有很多设备并不需要连续调节转速，只要能切换若干段固定的转速就行了。几乎所有的变频器都有设置多段转速的功能，只需要用变频器的 2 点或 3 点数字量输入信号，就可以切换 4 段或 8 段转速，可以避免使用昂贵的 PLC 模拟量输出模块来连续调节变频器的输出频率。有的设备要求一个或两个转速段的转速给定值可以由操作人员调整，这一功能可以用接在变频器模拟量给定信号输入端的电位器来实现。其他段的转速则用变频器的参数来设置，在运行时操作人员不能修改它们。

可以用类似的方法，用变频器的一个或两个输入信号，来切换两档或 4 档加/减速时间，加速时间和减速时间的值用参数来设置。

（5）用按钮切换电动机的多段转速

图 6-25 用 Q0. 0 和 Q0. 1 来控制安川 F7 系列变频器转速的方向，用 Q0. 4 ~ Q0. 6 控制变频器的 8 段转速，用按钮 SB3 和 SB4 控制转速的切换。按一次“加段号”按钮，转速的段号加 1，第 7 段时按“加段号”按钮不起作用。按一次“减段号”按钮，转速的段号减 1，第 0 段时按“减段号”按钮不起作用。在变频器内部用参数设定各段速度的值。

段号用一只七段 LED 共阳极显示器来显示，用共阳极七段译码驱动芯片 4547 来控制七段显示器。CPU 224 的继电器输出点分为 3 组，1L ~ 3L 是各组的公共点。控制段速的 Q0. 4 ~ Q0. 6 为第 2 组；显示段号的 Q0. 7 ~ Q1. 1 为第 3 组，使用 DC5V 电源电压。

F7 系列变频器的输入端子为多功能端子，需要用参数 H1—2 ~ H1—05 来指定端子 S4 ~ S7 的功能，用参数 b1—01 和 H3—09 来设置模拟量输入端子 A1 和 A2 的功能。

下面是控制 8 段转速的程序：

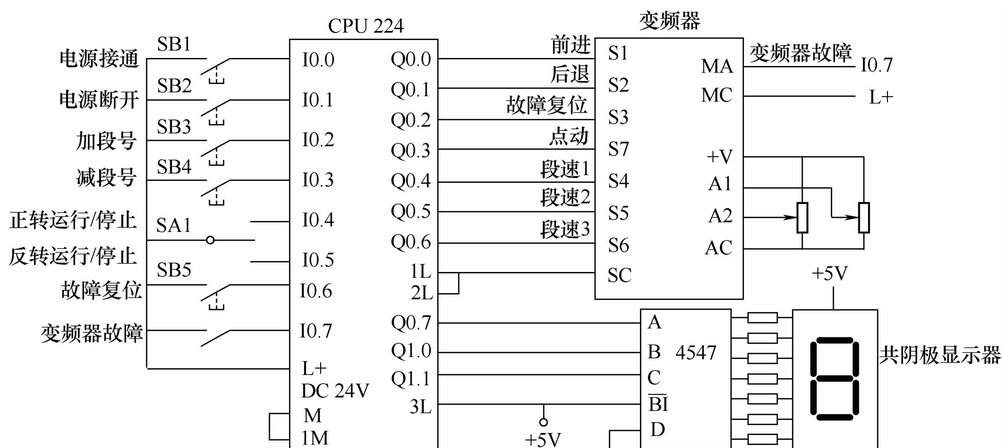


图 6-25　多段转速切换的硬件电路

```
LD       SM0. 1
MOVB     0, MB10        //开机时设置段号的初始值
LD       I0. 2
EU                      //在 I0. 2 的上升沿
AB <     MB10, 7        //并且 MB10 的值小于 7
INCB     MB10           //段号 MB10 加 1
LD       I0. 3
EU                      //在 I0. 3 的上升沿
AB >     MB10. 0        //并且 MB10 的值大于 0
DECB     MB10           //段号 MB10 减 1
LD       M10. 0
=        Q0. 4          //段号送变频器
=        Q0. 7          //段号送显示器
LD       M10. 1
=        Q0. 5          //段号送变频器
=        Q1. 0          //段号送显示器
LD       M10. 2
=        Q0. 6          //段号送变频器
=        Q1. 1          //段号送显示器
```

2. 用顺序控制设计法设计变频器转速控制程序

某龙门刨床的工作台有点动和自动循环两种工作方式。点动用来将工作台调整到合适的位置，以便摆放加工工件和为进入自动循环方式做好准备。工作台的自动循环往返工作方式，用于工件的加工。图 6-26 给出了工作台自动运行的转速曲线。

变频器的 7 种转速用输入端子 S4 ~ S7（如图 6-27 所示）来切换，表 6-4 给出了龙门刨床工作台主拖动电动机各段的转速与端子 S4 ~ S7 的状态之间的关系。

根据表 6-4，可以确定工作台自动运行的各阶段（即顺序功能图中的各步）对应的变频

器的转速段号和各步的动作（如图 6-27 所示）。

参数 d1—01 ~ d1—08 分别用于设置段速 1 ~ 8 的频率值，参数 d1—017 用于设置点动频率。

工作台自动循环往返运动由装在床身的 4 只行程开关来控制(如图 6-27 所示),其中 I0.4 和 M0.5 为减速行程开关,I0.2 和 I0.3 为换向行程开关。用终端限位开关(对应于 I0.0 和 I0.1)的常闭触点为 PLC 提供输入信号,防止在故障时工作台冲出极限位置。

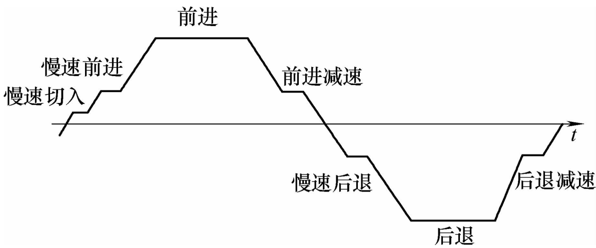


图 6-26　工作台自动运行的转速曲线

在工作台进入自动循环往返运动之前，应在点动模式下使工作台处于前进减速行程开关 I0.4 和后退减速行程开关 I0.5 之间，变频电动机的冷却风机和油泵应处于运行状态。

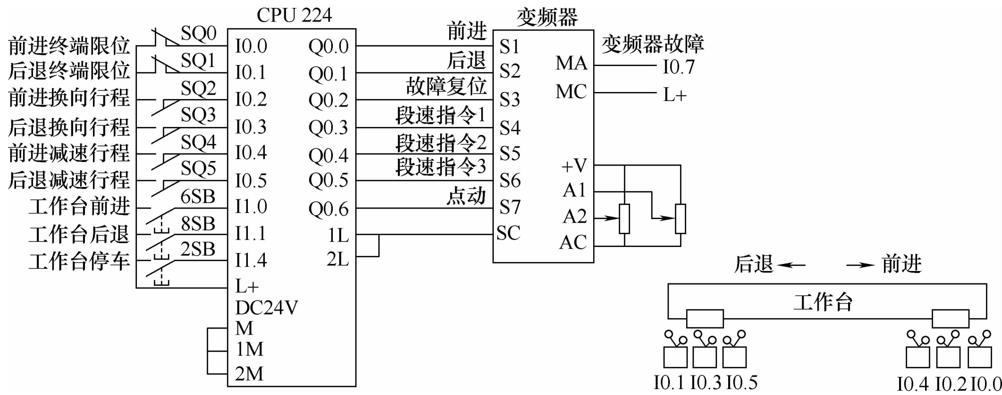


图 6-27　龙门刨床工作台自动控制硬件接线图

表 6-4　变频器的频率切换表

速度编号	S4（Q0.3）	S5（Q0.4）	S6（Q0.5）	S7（Q0.6）	选择的速度	龙门刨床工作台状态
	段速指令 1	段速指令 2	段速指令 3	点动		
1	OFF	OFF	OFF	OFF	A1 端子输入的速度	前进
2	ON	OFF	OFF	OFF	A2 端子输入的速度	后退
3	OFF	ON	OFF	OFF	速度 3	慢速切入
4	ON	ON	OFF	OFF	速度 4	前进减速
5	OFF	OFF	ON	OFF	速度 5	后退减速
6	ON	OFF	ON	OFF	速度 6	慢速前进
7	OFF	ON	ON	OFF	速度 7	慢速后退
8	ON	ON	ON	OFF	速度 8	—
9	—	—	—	ON	点动转速	点动

在工作台自动循环运行过程中，用 Q0.0 和 Q0.1 分别控制工作台的前进和后退，用 Q0.3 ~ Q0.5 控制各段的转速切换。

外部设备（油泵、风机和变频器）运行正常时，M5.1 为 1 状态。左、右终端限位开关未动作时，它们的常闭触点闭合，I0.0 和 I0.1 为 1 状态；未按停止按钮时，I1.4 的常闭触点闭合。以上条件同时满足时，M5.0 的线圈通电（如图 6-28 所示），才能进行自动运行。

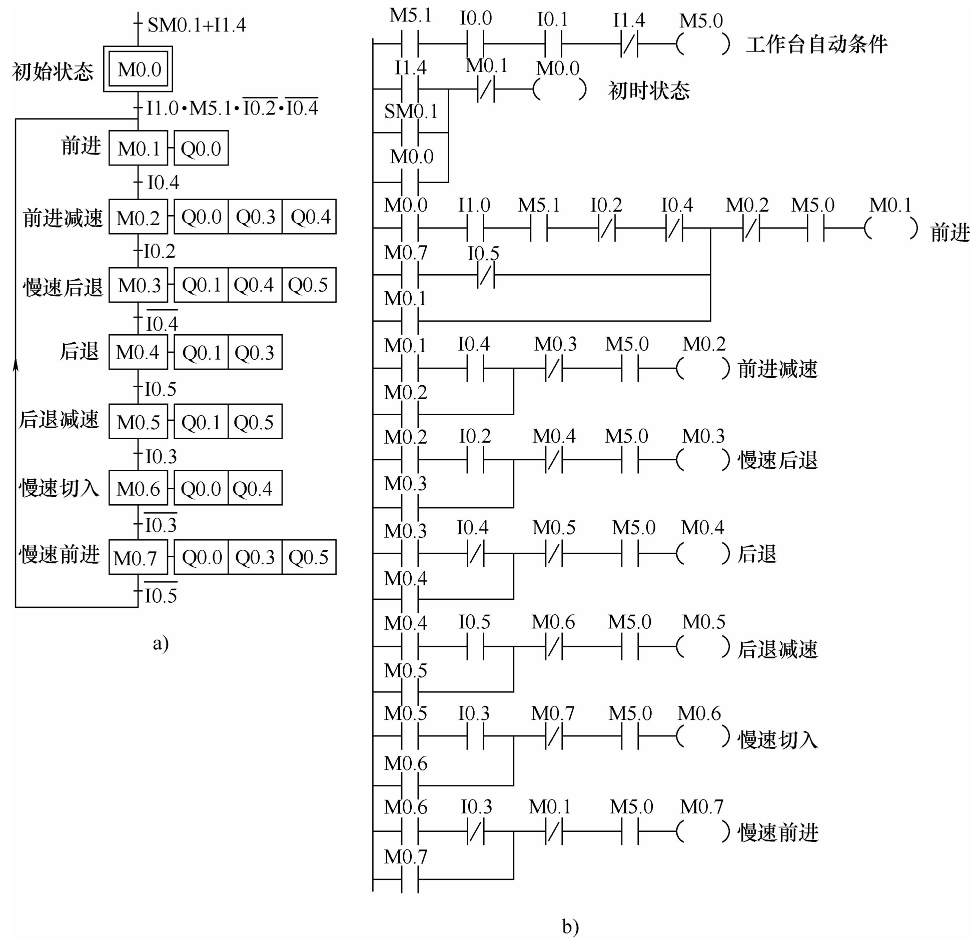


图 6-28　工作台自动循环往返顺序功能图与梯形图

a）顺序功能图　b）梯形图

在工作台自动运行的过程中，只要外部设备有故障（M5.1 为 OFF）、按了停止按钮 I1.4、或终端限位开关 I0.0 和 I0.1 动作（变为 0 状态），M5.0 的线圈都会断电，使 M0.1 ~ M0.7 的线圈全部断电，除初始步之外的其他步全部都变为不活动步，输出点均为 0 状态，工作台停止运动。同时初始步 M0.0 变为活动步，为下次起动工作台自动运行做好准备。

在初始步，如果外部设备运行正常（M5.1 为 ON），并且前进减速行程开关 I0.2 和与前进换向行程开关 I0.4 都没有动作（均为 0 状态），按下前进按钮 I1.0，步 M0.1 变为活动步，工作台前进。碰到前进减速行程开关 I0.4，M0.2 变为 1 状态（见顺序功能图），开始减速运行。碰到前进换向行程开关 I0.2，M0.3 变为 1 状态，工作台慢速后退。离开前进减

速行程开关 I0.4 时，M0.4 变为 1 状态，工作台快速后退。后退行程开关 I0.5 动作时，M0.5 变为 1 状态，工作台减速后退。后退换向行程 I0.3 动作时，M0.6 变为 1 状态，工作台进入慢速切入阶段，以防止工件边沿接触刀具时崩裂。离开后退换向行程开关 I0.3 时，M0.7 变为 1 状态，工作台慢速前进。离开后退减速行程开关 I0.5 时，M0.1 变为 1 状态，工作台快速前进，开始下一周期的操作。这样工作台将按图 6-26 所示的速度曲线周期性地自动运行。

在 PLC 上电时，初始化脉冲 SM0.1 的常开触点闭合一个扫描周期，使初始步 M0.0 变为活动步。

根据系统的顺序功能图，用“起-保-停”电路设计出控制各步的梯形图（如图 6-31 所示），从顺序功能图可以看出每个输出继电器在哪几步为 1 状态，由此可以设计出与速度控制有关的输出继电器的控制电路（如图 6-29 所示）。

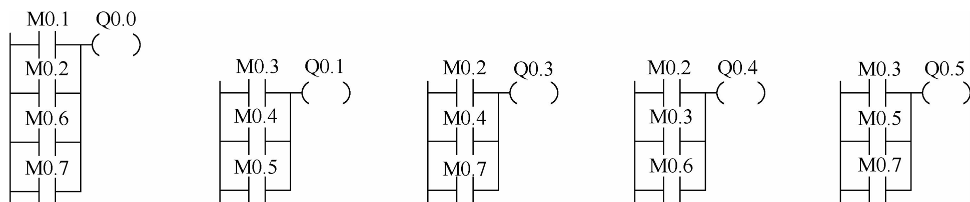


图 6-29　输出电路

3. 用 PLC 切换电动机的变频电源和工频电源

为了保证在变频器出现故障时设备仍能继续运行，很多设备都要求设置工频运行和变频运行两种模式。有的还要求变频器因为故障跳闸时，可以自动切换为工频运行方式，同时发出报警信号。

（1）单台电动机的电源切换

在工频/变频控制的主电路中（如图 6-30 所示），接触器 KM1 和 KM2 动作时为变频运行，KM3 动作时工频电源直接接到电动机。

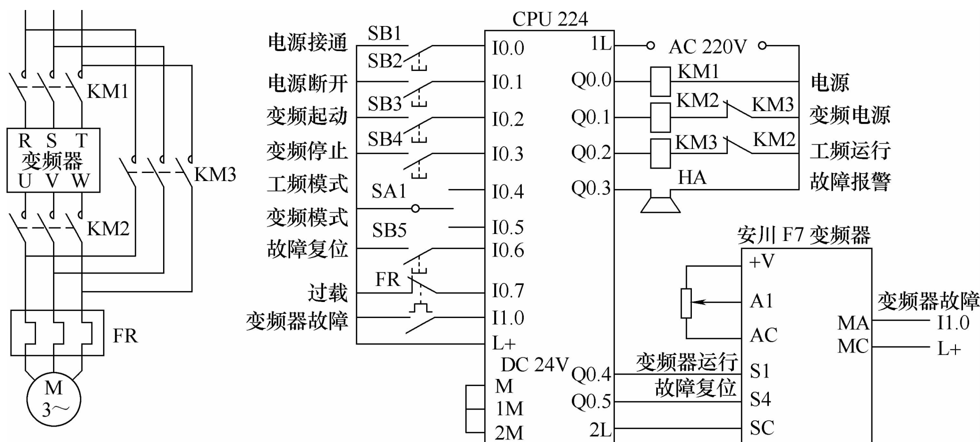


图 6-30　工频/变频电源切换控制电路

工频电源如果接到变频器的输出端，将会损坏变频器，所以KM2和KM3绝对不能同时动作，相互之间必须设置可靠的互锁。

即使采取了上述措施，也仅能保证KM2和KM3的线圈不会同时通电。如果在运行时维修人员或操作人员用手按压某个接触器的活动触点部分，仍有可能使KM2和KM3的主触点同时接通，导致变频器损坏。因此建议KM2和KM3采用交流接触器的机械连锁。

在工频运行时，变频器不能对电动机进行过载保护，所以设置了热继电器FR，用它提供对工频运行时的过载保护。

旋钮开关SA1用于切换PLC的工频运行模式或变频运行模式，按钮SB5用于变频器出故障后对故障信号复位。

1）工频运行。工频运行时将选择开关SA1扳到“工频模式”位置，I0.4为1状态，为工频运行作好准备。

按下“电源接通”按钮SB1，I0.0变为1状态，使Q0.2的线圈通电并保持（如图6-31所示），接触器KM3动作，电动机在工频电压下起动并运行。

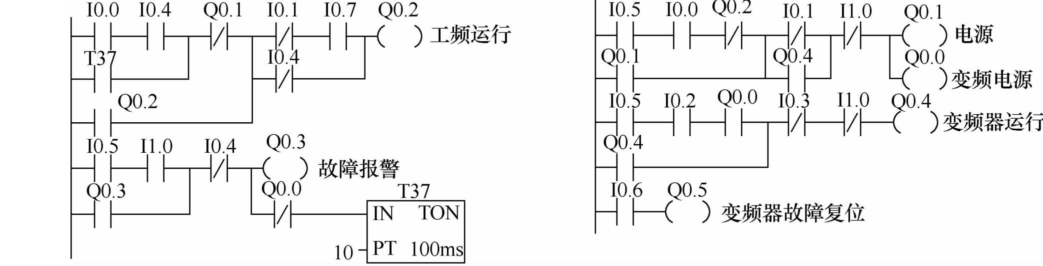


图6-31　电源切换控制梯形图

工频运行时I0.4的常闭触点断开，按下“电源断开”按钮SB2，I0.1的常闭触点断开，使Q0.2的线圈断电，接触器KM3失电，电动机停止运行。如果电动机过载，热继电器FR的常闭触点断开，I0.7变为0状态，Q0.2的线圈也会断电，使接触器KM3失电，电动机停止运行。

2）变频运行。变频运行时将选择开关SA1旋至“变频模式”位置，I0.5为1状态，为变频运行作好准备。按下“电源接通”按钮SB1，I0.0变为1状态，使Q0.0和Q0.1的线圈通电，接触器KM1和KM2动作，接通变频器的电源，并将电动机接至变频器的输出端。

接通变频器电源后，按下变频起动按钮SB3，I0.2变为1状态，使Q0.4线圈通电，变频器的S1端子被接通，电动机在变频模式运行。Q0.4的常开触点闭合后，使断开电源的按钮SB2（I0.1）的常闭触点不起作用，以防止在电动机变频运行时切断交频器的电源。按下变频停止按钮SB4，I0.3的常闭触点断开，使Q0.4的线圈断电，变频器的S1端子处于断开状态，电动机减速和停机。

3）故障时的电源切换。如果变频器出现故障，变频器内部的MA与MC端子之间的常开触点闭合，使PLC的输入点I1.0变为1状态，Q0.1、Q.0和Q0.4的线圈断电，接触器KM1和KM2线圈断电，变频器的电源被断开。Q0.4使变频器的输入端子S1断开，变频器停止工作。另一方面，Q.3的线圈通电并保持，声光报警器HA动作，开始报警。同时T37开始计时，定时时间到时，使Q0.2的线圈通电并保持，电动机自动进入工频运行状态。

操作人员接到报警信号后，应立即将开关 SA1 扳到“工频模式”位置，输入继电器 I0.4 动作，使控制系统正式进入工频运行模式。另一方面，使 Q0.3 线圈断电，停止声光报警。

处理完变频器的故障，重新通电后，应按下故障复位按钮 SB5，I0.6 变为 1 状态，使 Q0.5 线圈通电，接通变频器的故障复位输入端 S4，使变频器的故障状态复位。

（2）互为备用的两台电动机的工频/变频电源切换

图 6-32 中的两台电动机互为备用，工作时只使用一台设备，每台电动机都能用工频电源或变频电源驱动。因为要使用工频电源，每台电动机均应配备用于过载保护的热继电器。与图 6-32 相同，用 KM1、KM2 和 KM3 实现工频和变频电源的切换，用 KM4 和 KM5 实现两台电动机的切换。与图 6-30 相比，PLC 的输入回路应增加选择电动机 M1 或 M2 的 2 位置旋钮开关。在 PLC 的输出回路，除了 KM2 和 KM3 之间的硬件互锁电路外，还应设置 KM4 和 KM5 之间的硬件互锁电路，以保证工作时只有一台电动机运行。

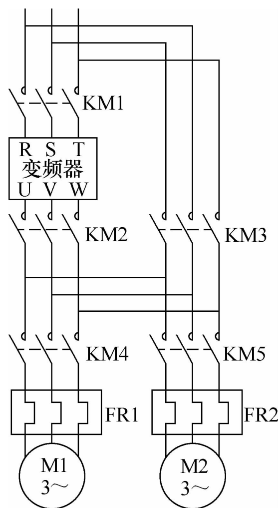


图 6-32　主电路图

4. 用变频器实现泵站恒压供水控制

（1）恒压供水的基本控制

供水系统的加压泵站通常采用多泵并联的供水方式，过去多用人工来控制投入运行的工频水泵的台数，使出口压力控制在允许的范围内。这种手工控制方式的水压不稳定，很难满足恒压用水的高要求，过高的水压还会造成能量的浪费。

用变频器和压力闭环控制可以保证泵站的出口压力基本恒定。为了节省投资，一般只配备一台变频器，某一台电动机用变频器驱动，其他电动机仍然用工频电源驱动。多泵并联恒压供水系统中，只要其中最大的一台泵是变频调速泵，其余各泵是工频恒速泵，就可以实现多泵并联恒压变流量供水。因为变频器的价格基本上与其功率成正比，最经济的方案是各并联水泵电动机的输出功率相同。

为了实现工频泵的自动投入和切除，需要给 PLC 提供管道压力信号或变频器的频率信号。可以用电接点压力表给 PLC 提供压力过高和压力过低的触点信号，电接点压力表的价格便宜，工作可靠。

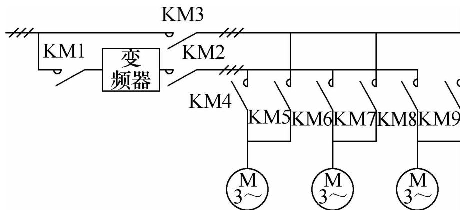


图 6-33　水泵电动机的主接线示意图

图 6-33 是多泵并联供水的水泵电动机主接线示意图，PLC 可以选择任意一台电动机作变频运行，其余各台电动机由工频驱动。根据当前的供水量和泵站出口处的水压，控制工频运行的水泵的台数，对供水量和水压进行粗调，用变频电动机进行细调。假设各泵的电动机容量相同，当用水流量小于一台泵的流量时，由一台变频泵自动调速供水。随着用水流量的增大，由于闭环控制的作用，变频泵的转速自动升高，以维持恒压；如果变频泵的转速升高到工频转速时，管道出口水压仍未达到设定值，则起动一台工频泵；以此类推，直到出口压力达到设定值。

当用水量减少时，变频泵的频率将自动减小，降到某一设定值时，如果管道压力仍高于设定值，则切除一台工频泵，切除后如果管道压力仍然过高，再切除一台工频泵，以此类推，直到管道压力等于设定值。

现代的变频器都有可编程的输出触点，例如可以对触点编程，使它在变频器的频率大于设定值（例如 50Hz）时闭合，此信号相当于电接点压力表的压力过低信号，可以将它送给 PLC，用来控制自动投入工频运行的泵。

当用水流量减少，变频泵的转速下降到水泵不出水的临界值之前，变频器的另一个可编程输出触点闭合，此信号相当于电接点压力表的压力过高信号，可以将它送给 PLC，以控制工频运行的泵自动退出。

（2）恒压供水的闭环控制

现代变频器的内部通常都有一个 PI 或 PID 控制器，用于恒压供水的闭环控制系统。即将反馈信号（例如压力信号）接到变频器的反馈信号输入端，用变频器内部的控制器实现闭环控制，以减少压力偏差，保持水压恒定。

PLC 的主要功能是根据管道的出口压力，控制工频电源供电的水泵的台数，通过数字量输出信号给变频器提供起动/停止命令，对泵站总的供水量进行粗调。

这种设计方案的控制器和执行器（即变频器）是一体化的，具有硬件成本低、使用方便、可靠性较高、编程工作量少的优点，应优先采用。可以使用安装在水泵出水管道上的压力传感器，将压力信号转换为直流电流信号或电压信号，用于水压的闭环控制。

变频器时刻跟踪管网压力与压力给定值之间的偏差变化情况，经变频器内部的 PID 运算，调节变频器的输出频率，改变变频器驱动的水泵的转速。变频器的输出频率越高，泵站的出口压力就越高。选择最佳的输出频率，既能保证供水的压力，又能防止压力过高，还可以节约大量的能量。

如果用 PLC 来作闭环控制器（如图 6-34 所示），既需要配置模拟量输入模块（A/D 转换器）来输入压力信号，还需要模拟量输出模块（D/A 转换器）给变频器提供频率给定信号，增加的硬件投资较多。其优点是模拟量闭环控制与数字量逻辑控制融为一体，PLC 可以利用压力反馈信号来实现工频泵的投入和切除，压力信号还可以用于监控和报警等功能。

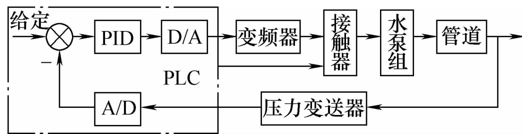


图 6-34　PLC 压力闭环控制系统框图

本 章 小 结

本章在已初步掌握阅读和分析生产设备电气与 PLC 控制电路能力的基础上，介绍了设计生产设备电气与 PLC 控制电路的基本内容、设计方法步骤和原则；并进行了典型生产设备的电气与 PLC 控制的设计示范举例等。

设计生产设备电气与 PLC 控制电路有其一般的原则，用户必须按照这些原则设计电路，才能避免出现一些常见的故障，使设计的电路安全、可靠。

设计生产设备电气控制电路的一般方法有经验设计法和逻辑设计法，两种方法各有其利弊，经验设计法根据典型环节并在具有一定经验的基础上反复修改来完成设计；逻辑设计法则根据逻辑函数，画出工作循环图，最后得出控制电路。用户根据自己的特长，选择使用不同的方法来实现设计方案，使设计方案简洁、科学。设计生产设备 PLC 控制电路常用翻译法，在原有生产设备电气控制电路的基础上进行移植改

造，可以减少硬件改造的费用和改造的工作量等。

通过本章的学习，应掌握生产设备电气与 PLC 控制电路的经验设计方法，自行设计各种控制电路，完成不同的控制功能。对逻辑设计法，有自主学习能力并感兴趣的读者可参阅有关参考书。

习题与思考题

6-1　设计一台机床电气控制系统，一般应包括哪些设计内容？

6-2　机床电气控制系统设计中应遵循的原则是什么？

6-3　机床电气控制系统设计中应如何拟定任务书，确定机床电力拖动方案和选择电动机？

6-4　机床电气控制电路常用的设计方法有哪两种？各有什么特点？

6-5　机床电气控制系统设计中应如何选择各种电气元件？

6-6　机床电气控制系统工艺设计一般包括哪些内容？

6-7　机床 PLC 控制系统设计的基本原则有哪些？

6-8　机床 PLC 控制系统设计应包括哪些主要内容？

6-9　机床 PLC 控制系统设计的一般步骤有哪些？

6-10　什么 PLC 控制系统的移植设计法？它有什么特点？

6-11　试用经验设计法设计一台实用机床的电气控制系统？

6-12　试将一台实用机床的电气控制系统改造为 PLC 控制？

第7章　电气与PLC控制实验及课程设计指导

主要内容

（1）电气与PLC控制实验及课程设计基本要求及注意事项

（2）电气控制部分实验及课程设计

（3）PLC控制部分实验及课程设计

学习重点及教学要求

（1）了解电气与PLC控制实验及课程设计基本要求及注意事项

（2）掌握电气与PLC控制部分实验及课程设计的目的、方法与步骤

（3）掌握电气与PLC控制部分实验及课程设计的目的、方法与步骤

本章教学重点在于培养学生电气与PLC控制的实验及课程设计工程实践能力和综合素质。

电气与PLC控制实验及课程设计是一种实际生产性实践教学环节，其目的在于使学生掌握基本的实验/课程设计方法与操作技能；培养学生能够根据实验及课程设计目的，内容及设备拟定实验及课程设计电路，选择所需仪表，确定实验及课程设计步骤，测取所需数据，进行分析研究，得出必要结论，从而完成实验及课程设计报告；达到工学结合、学用一致、理论密切联系生产实际的教学效果，努力提高学生的综合素质和生产实践技能，铸造高素质高技能的未来蓝领人才——卓越工程师。

7.1　电气与PLC控制实验及课程设计基本要求和注意事项

7.1.1　实验及课程设计前的准备

实验及课程设计前应充分复习教科书有关章节，认真预习、研读实验及课程设计指导书，了解实验及课程设计目的、项目、方法与步骤，明确实验及课程设计过程中应注意的问题（有些内容可到实验及课程设计室对照实验及课程设计内容预习，如熟悉组件的编号，使用及其规定值等），并按照实验及课程设计项目准备记录抄表等。

实验及课程设计前应写好预习报告，经指导教师检查认为确实做好了实验及课程设计前的准备，方可开始作实验及课程设计。

认真做好实验及课程设计前的各项准备工作，对于培养同学独立分析问题和解决问题的工作能力，提高实验及课程设计质量和保护实验设备都是至关重要的。

7.1.2　实验及课程设计的实施进行

1. 建立小组，合理分工

每次实验及课程设计都以小组为单位进行，每组由 2 ~ 3 人组成，实验及课程设计进行中的接线、调节负载、保持电压或电流、记录数据等工作每人应有明确的分工，以保证实验及课程设计操作协调，记录数据准确可靠。

2. 选择组件和仪表

实验及课程设计前先熟悉该次实验及课程设计所用的组件，记录电动机铭牌和选择仪表量程，然后依次排列组件和仪表便于测取数据。

3. 按图接线

根据实验及课程设计电路图及所选组件、仪表、按图接线，电路力求简单明了，按接线原则是先接串联主回路，再接并联支路。为查找电路方便，每路可用相同颜色的导线或插头。

4. 起动电动机，观察仪表

在正式实验及课程设计开始之前，先熟悉仪表刻度，并记下倍率，然后按一定规范起动电动机，观察所有仪表是否正常（如指针正、反向是否超满量程等）。如果出现异常，应立即切断电源，并排除故障；如果一切正常，即可正式开始实验/实训。

5. 测取数据

预习时对电动机的试验及课程设计方法及所测数据的大小做到心中有数。正式实验及课程设计时，根据实验及课程设计步骤逐次测取数据。

认真负责，实验及课程设计训有始有终，实验及课程设计完毕，须将数据交指导教师审阅。

7.1.3　实验及课程设计报告

实验及课程设计报告是根据实测数据和在实验中观察和发现的问题，经过自己分析研究或分析讨论后写出的心得体会。

实验及课程设计报告要简明扼要、字迹清楚、图表整洁、结论明确。

实验及课程设计报告包括以下内容：

1）实验及课程设计名称、专业班级、学号、姓名、实验及课程设计日期、室温（℃）。

2）列出实验及课程设计中所用组件的名称及编号，电动机铭牌数据（P_N、U_N、I_N、n_N）等。

3）列出实验及课程设计项目并绘出实验及课程设计时所用的电路图，并注明仪表量程、电阻器阻值、电源端编号等。

4）数据的整理和计算。

5）按记录及计算的数据用坐标纸画出曲线，图纸尺寸不小于 8cm × 8cm，曲线要用曲线尺或曲线板连成光滑曲线，不在曲线上的点仍按实际数据标出。

6）根据数据和曲线进行计算和分析，说明实验及课程设计结果与理论是否符合，可对某些问题提出一些自己的见解并最后写出结论。实验及课程设计报告应写在一定规格的报告纸上，保持整洁。

7）对每次实验及课程设计，每人要独立完成一份报告，按时送交指导教师批阅。

7.1.4　实验及课程设计中的安全事项

如实验及课程设计要涉及到强电电路，安装与接线错误及操作不当会损坏设备，危及人的生命安全，必须严肃认真、格外注意实验及课程设计中的设备和人身安全。

1）强电电路的实验及课程设计，必须至少有两人进行，一人负责接线和操作，一人负责监护。

2）强电电路的安装与接线要穿戴好必要的保护设施（绝缘鞋及绝缘手套等）。

3）强电电路的安装与接线及调试要养成单手作业的习惯。

4）掌握必要的故障下的自救和抢救方法。

7.1.5　实验及课程设计中要熟练掌握一些关键主要设备的性能

为使实验及课程设计顺利进行，需要熟练掌握一些关键设备的性能，诸如西门子公司的 S7-226 主要技术数据，才能快速高效地完成实验及课程设计任务：

1）输入继电器（I）：24 点，I0.0～I0.7、I1.0～I1.7、I2.0～I2.7；其输入映像寄存器的有效地址范围为 I（0.0～15.7），共 128 点；IB（0～15），共 16 字节；IW（0～14），共 8 个字；ID（0～12），共 4 个双字。

2）输出继电器（Q）：16 点，Q0.0～Q0.7、Q1.0～Q1.7；其输出映像寄存器的有效地址范围为 Q（0.0～15.7），共 128 点；QB（0～15），共 16 字节；QW（0～14），共 8 个字；QD（0～12），共 4 个双字。

3）辅助继电器（M）：256 点，其有效地址范围为 M（0.0～31.7），共 256 点；MB（0～31），共 32 字节；MW（0～30），共 16 个字；MD（0～28），共 8 个双字。

4）变量存储器（V）：40960 点，其有效地址范围为 V（0.0～5119.7），共 40960 点；VB（0～5119），共 5120 字节；VW（0～5118），共 2560 个字；VD（0～5116），共 1280 个双字。

5）局部存储器（L）：512 点，其有效地址范围为 L（0.0～63.7），共 512 点；LB（0～63），共 64 字节；LW（0～62），共 32 个字；LD（0～60），共 16 个双字。

6）顺序控制继电器（S）：256 点，其有效地址范围为 S（0.0～31.7），共 256 点；SB（0～31），共 32 字节；SW（0～30），共 16 个字；SD（0～28），共 8 个双字。

7）特殊标志继电器（SM）：4400 点，其有效地址范围为 SM(0.0～549.7),共 4400 点；SB(0～549),共 550 字节;SW(0～548),共 275 个字;SD(0～546),共 136 个双字。

8）定时器（T）：256 个，其编号的有效范围为 T（0～255）。其中，①保持接通延时型：1ms：T0、T64；10ms：T1～T4，T5～T8；100ms：T5～T31，T69～T95。②接通/断电延时型：1ms：T32、T96；10ms：T33～T36，T97～T100；100ms：T37～T63，T101～T255。设定值 PT 端的取值范围都是 1～32，767。

9）计数器（C）：有加计数器（CTU）、减计数器（CTD）和加减计数器（CTUD）三种，三种计数器号的有效范围都是 C（0～255），设定值 PV 端的取值范围都是 1～32，767。

10）模拟量输入映像寄存器（AI）：有效地址范围为 AIM（0～62），共 32 个字，即共有 32 路路模拟量输入。

11）模拟量输出映像寄存器（QI）：有效地址范围为 QIM（0～62），共 32 个字，即共有 32 路路模拟量输入。

12）累加器（AC）：S7-200 CPU 提供了 4 个 32 位累加器，有效地址范围为 AC0～AC3。

13）高速计数器（HC）：CPU221 和 CPU222 有 4 个高速计数器（HSC0、HSC3、1SC4、HSC5）；CPU224 和 CPU226 有 6 个高速计数器，其有效地址范围为 HC（0～5）。

7.2 电气控制部分实验指导

7.2.1 三相异步电动机点动和长动（连续）控制实验

1. 实验目的

1）通过实验熟悉机床控制中常用的各种低压电器。

2）通过实验进一步加深对点动控制和长动控制特点的理解。

3）通过对三相异步电动机点动控制和长动控制电路的实际安装接线，掌握由电气原理图变换成安装接线图的知识。

4）通过实验进一步加深理解点动控制和长动控制的特点及在电气控制中的应用技能。

2. 选用组件

按照图 7-1 所示电路选择必备的低压电气元件：

1）三相交流异步笼型电动机	1 台
2）三极刀开关或自动空气开关	1 台
3）起、停、点动按钮（绿、红、黑）	各 1 个
4）三相交流接触器	1 台
5）熔断器（与三极刀开关配套使用）	4 个
6）热继电器	1 台
7）中间继电器	1 台
8）连接导线（绿、红、黄）	各 1 捆

注：低压电气元件的选择参数应根据所选用电动机的容量计算确定。

3. 三相异步电动机点动和长动控制参考电路图

4. 实验过程

（1）点动控制（图 7-1b 中无自锁）

连线接好经指导老师检查无误后，按下列步骤进行实验：

1）先合上 QS，接通三相交流电动机主电路和控制电路电源。

2）按下起动按钮 SB，对电动机 M 进行点动操作，观察电动机 M 运行。

3）松开起动按钮 SB，对电动机 M 进行停机操作，观察电动机 M 停机。

4）反复操作几次，比较按下 SB 和松开 SB 时电动机 M 的运转情况。

5）体验点动操作的内涵。

（2）连动控制（图 7-2b 中有自锁）

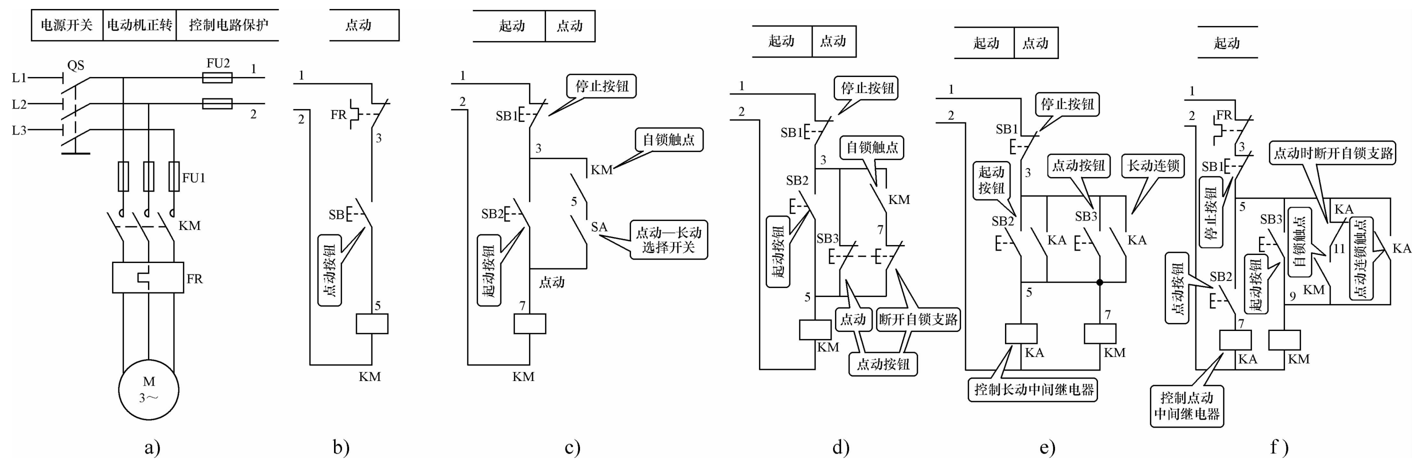


图 7-1　三相异步电动机点动/长动控制参考实验电路图

a）主电路　b）点动　c）用选择开关实现选择性连锁　d）用复合按钮实现选择性连锁

e）用继电器实现选择性连锁 1　f）用继电器实现选择性连锁 2

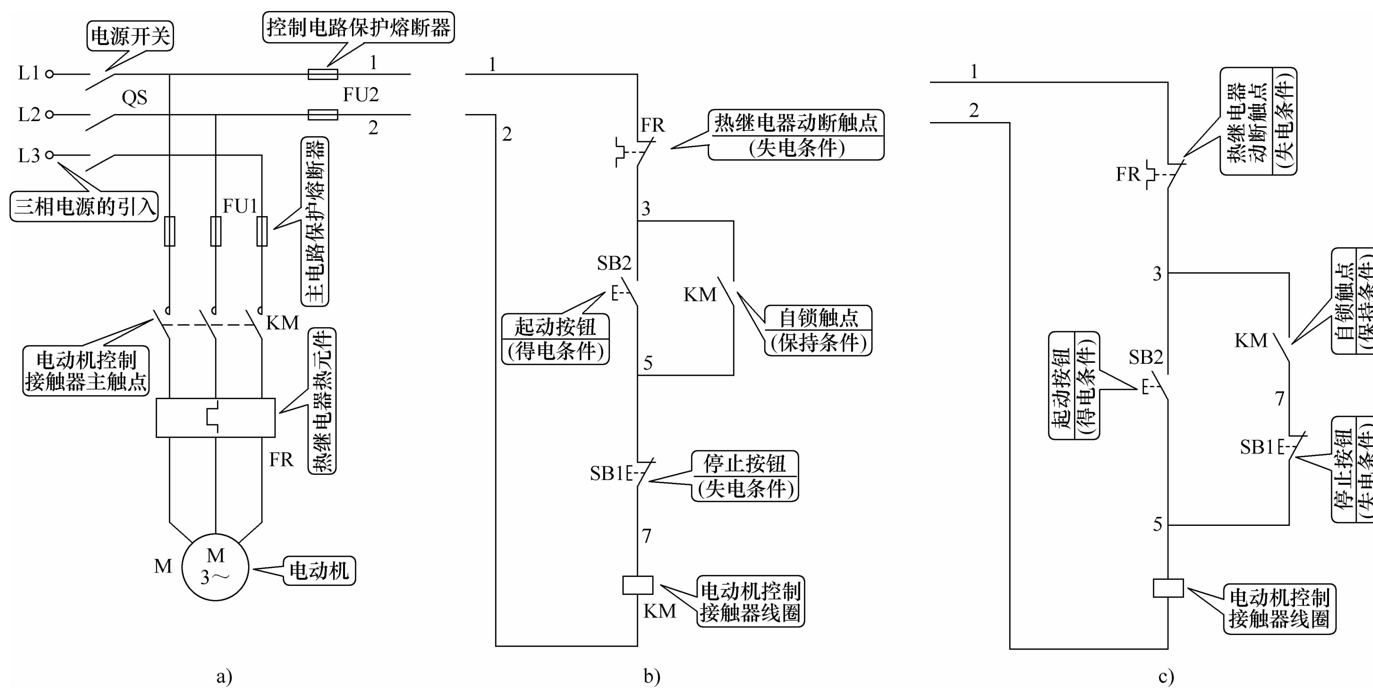


图 7-2　三相异步电动机长动“起-保-停”控制参考实验电路图

线接好经指导老师检查无误后，按下列步骤进行实验：

1）先合上 QS，接通三相交流电动机主电路和控制电路电源。

2）按下起动按钮 SB2，对电动机 M 进行连动操作，观察电动机 M 运行。

3）松开起动按钮 SB2，观察电动机 M 运行情况。

4）按下停止按钮 SB1，对电动机 M 进行停机操作，观察电动机 M 停机。

5）反复操作几次，比较按下 SB2 和按下 SB1 时电动机 M 的运转情况。

6）体验机床点动和连动操作的内涵；体会自锁的控制概念。

5. 实验报告要求

（1）实验目的

（2）实验设备和器材

（3）实验内容和步骤

（4）实验电路图

（5）实验结果分析和实验结论小结

（6）回答问题：

1）什么是自锁？点动和连动控制的根本区别在哪里？

2）交流电动机为何都普遍采用接触器进行操作控制？

7.2.2　三相异步电动机正反转控制实验

1. 实验目的

1）通过对三相异步电动机正反转控制电路的接线，掌握由电路原理图接成实际操作电路的方法。

2）掌握三相异步电动机正反转的原理和方法。

3）掌握接触器互锁正反转、按钮互锁正反转控制及按钮和接触器双重互锁正反转控制电路的不同接法，并熟悉在操作过程中有哪些不同之处。

2. 选用器件

按照图 7-3 所示电路选择必备的低压电气元件：

1）三相交流异步笼型电动机	1 台
2）三极刀开关或自动空气开关	1 台
3）正、反转起动与停止按钮（绿、黄、红）	各 1 个
4）三相交流接触器（正、反转用）	2 台
5）熔断器（与三极刀开关配套使用）	5 个
6）热继电器	1 台

注：低压电气元件的选择参数应根据所选用电动机的容量计算确定。

3. 三相异步电动机正反转控制参考电路图

按图 7-3a 或 7-3b 接线。接线时，先接主电路，它是从 380V 三相交流电源的输入端 L1、L2、L3 开始，经三极刀开关 QS、熔断器 FU1（或三相自动空气开关），接触器 KM1、KM2 主触点、FR 到电动机 M 的三个线端 U、V、W 的电路，用导线按顺序串联起来，各有三路。主电路经检查无误后，再接控制电路，从熔断器 FU2 开始，经 FR、按钮 SB1 ~ SB3、接触器 KM1、KM2 常闭接点、线圈等到电源。图 7-3b 为接触器互锁，安全可靠，但正反转操作不

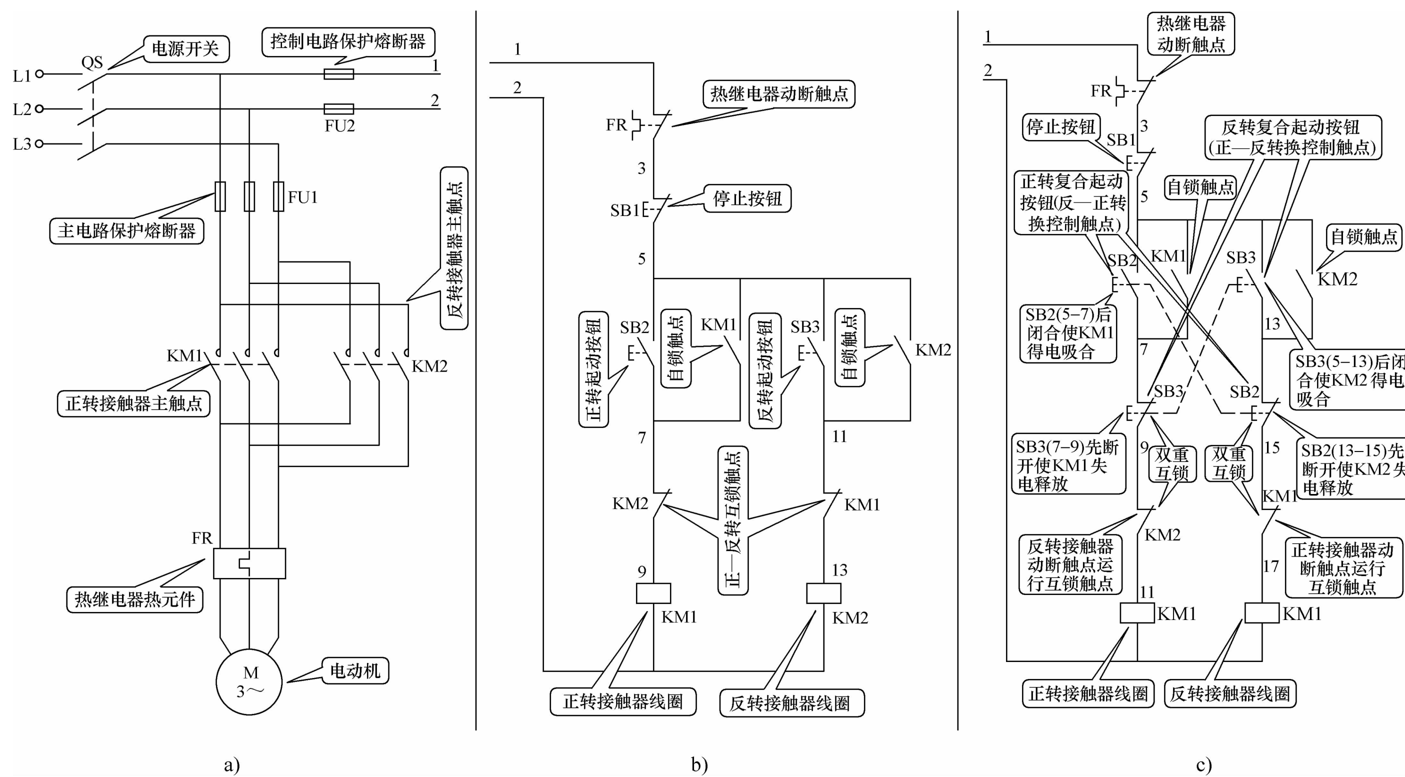


图 7-3　三相异步电动机正反转控制参考电路图

a）主电路　b）接触器单互锁　c）接触器和操作按钮双互锁

方便；图 7-3c 在图 7-3b 接触器互锁的基础上又增加了操作按钮互锁，使正反转操作也方便了。

4. 实验过程

（1）接触器互锁正反转控制电路

1）合上电源开关 QS，接通三相交流电动机主电源和控制电源。

2）按下 SB2，观察并记录电动机 M 的转向、接触器自锁和互锁触点的吸断情况。

3）按下 SB3，观察并记录电动机 M 的转向、接触器自锁和互锁触点的吸断情况。

4）再按下 SB1，观察并记录 M 的转向、接触器自锁和互锁触点的吸断情况。

5）反复操作几次，比较按下 SB2 和按下 SB3 时电动机 M 的运转情况。

6）体验机床正反转操作的内涵，体会互锁的控制概念。

（2）按钮和接触器双重互锁正反转控制电路

1）合上电源开关 QS，接通三相交流电动机主电源和控制电源。

2）按下 SB2，观察并记录电动机 M 的转向、各触点的吸断情况。

3）按下 SB3，观察并记录电动机 M 的转向、各触点的吸断情况。

4）按下 SB1，观察并记录电动机 M 的转向、各触点的吸断情况。

5）反复操作几次，比较按下 SB2 和按下 SB3 时电动机 M 的运转情况。

6）体验机床按钮和接触器双重互锁操作的内涵；体会操作互锁的控制概念。

5. 工作台自动往返循环控制的实验电路（如图 7-4 所示）

6. 实验报告要求

（1）实验目的

（2）实验设备和器材

（3）实验内容和步骤

（4）实验电路图

（5）实验结果分析和实验结论

（6）通过实验，回答下面问题：

1）交流异步电动机的正反转是如何实现的？自锁和互锁有何不同？

2）交流异步电动机的正反转不能实现直接切换的可能故障有哪些？

3）什么情况下容易发生两相电源短路故障？

4）交流异步电动机若有一相熔断器熔断，可能会产生什么故障？

5）交流异步电动机的正反转为何一定要带有接触器互锁？

6）用按钮完成交流异步电动机的正反转操作互锁有何好处？能否单独使用按钮完成交流异步电动机的正反转互锁？为什么？

7）用按钮和接触器互锁双重互锁交流异步电动机的正反转有何特点？

8）画出你在实验过程中所遇到故障现象的原理图，并分析故障原因及排除方法。

7.2.3　三相异步电动机Y-△起动控制实验

1. 实验目的

1）通过对三相异步电动机Y-△起动控制电路的接线（如图 7-5 所示），掌握由电路原理图接成实际操作电路的方法。

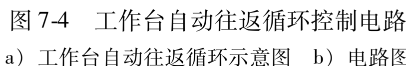


图 7-4　工作台自动往返循环控制电路

a）工作台自动往返循环示意图　b）电路图

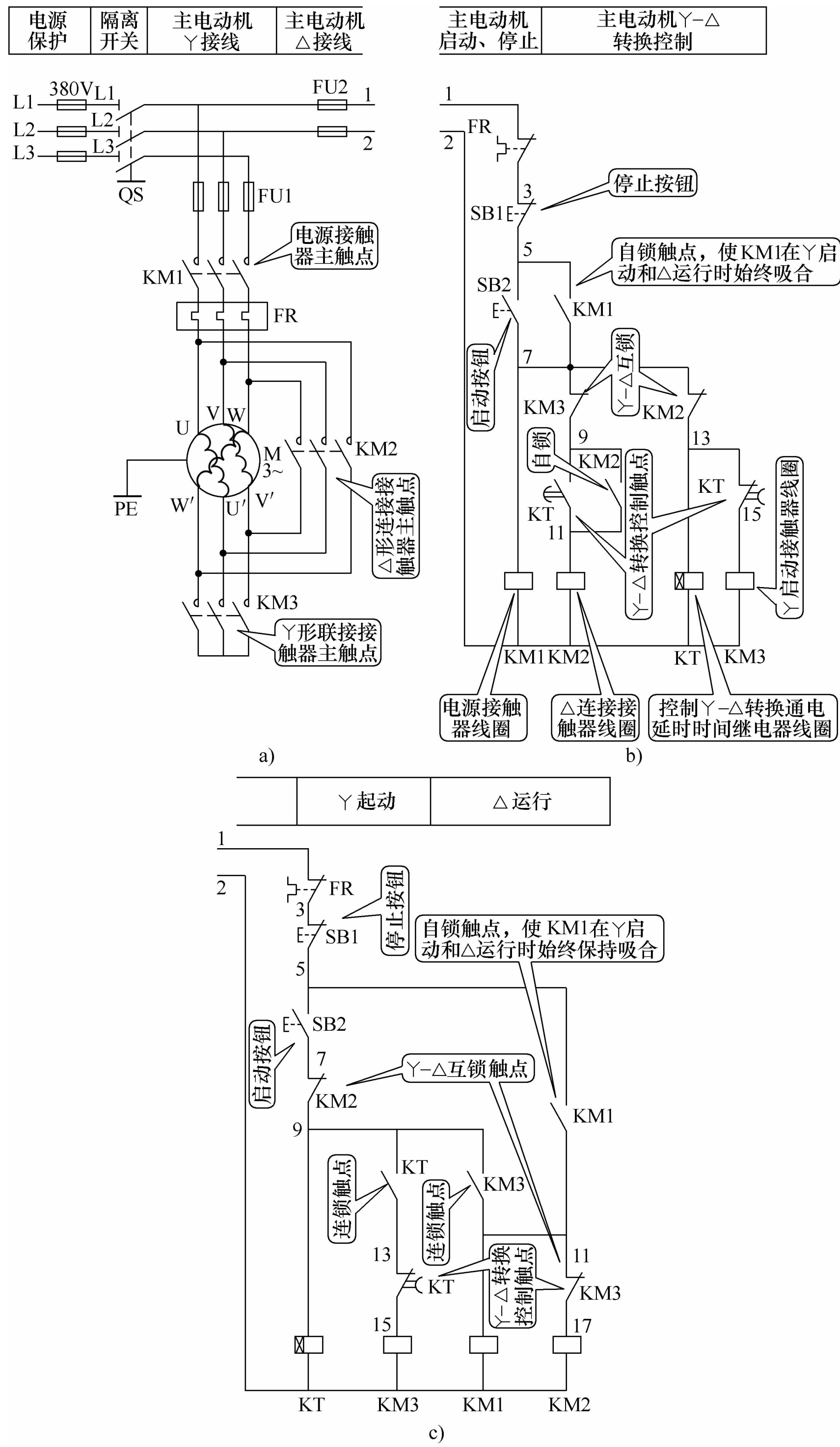


图 7-5　三相异步电动机Y-△起动控制参考电路图

2） 掌握三相异步电动机Y-△起动的原理和方法。

3） 掌握三相异步电动机Y-△起动的控制原则及时间继电器的应用。

4） 掌握三相异步电动机Y-△起动过程中Y起动和△运行接线之间的互锁控制关系。

2. 选用器件

按照图 7-6 所示电路选择必备的低压电气元件：

1） 三相交流异步笼型电动机	1 台
2） 三极刀开关或自动空气开关	1 台
3） 起动与停止按钮（绿、红）	各 1 个
4） 三相交流接触器（电路、Y、△接线用）	3 台
5） 熔断器（与三极刀开关配套使用）	5 个
6） 热继电器	1 台
7） 时间继电器	1 台

注：低压电气元件的选择参数应根据所选用电动机的容量计算确定。

3. 三相异步电动机Y-△起动控制参考电路图

按图 7-6 接线。接线时，先接主电路，它是从三相交流电源的输出端 L1、L2、L3 开始，经三相刀开关 QS、熔断器 FU1（或三相自动空气开关），接触器 KM1、KM2、KM3 主触点、FR 到电动机 M 的六个接线端 U1、U2 、V1、V2、W 1、W 2，用导线按顺序串联起来，有 3 条主电路。主电路经检查无误后，再接控制电路，从熔断器 FU2 开始，经 FR、按钮 SB1、SB2、接触器 KM1 ～KM3 及 KT 的接点、KM1～KM3 及 KT 的线圈到 FU2。要严格按照原理图接线，不得有误。

4. 实验过程

1）起动控制屏，合上电源开关 QS，接通三相交流电动机主电源和控制电源。

2）按下 SB2，电动机作Y接法起动，注意观察起动时，电流表最大读数 $I_{Y起动}$ = ______ A。

3） 延迟一定时间后，使电动机为△接法正常运行，注意观察△运行时，电流表电流为 $I_{△运行}$ = ______ A。

4）比较 $I_{Y起动}/I_{△起动}$ = ______，结果说明什么问题？

5）按下 SB1，电动机 M 停止运转。

5. 其他参考实验电路图

三相异步电动机Y-△起动控制其他参考电路图如图 7-6 所示。

6. 实验报告要求

（1） 实验目的

（2） 实验设备和器材

（3） 实验内容和步骤

（4） 实验电路图

（5） 实验结果分析和实验结论

（6） 回答问题：

1） 交流异步电动机的Y-△起动是如何实现的？时间继电器有何作用？

2） 采用Y-△减压起动的方法时对电动机有何要求？

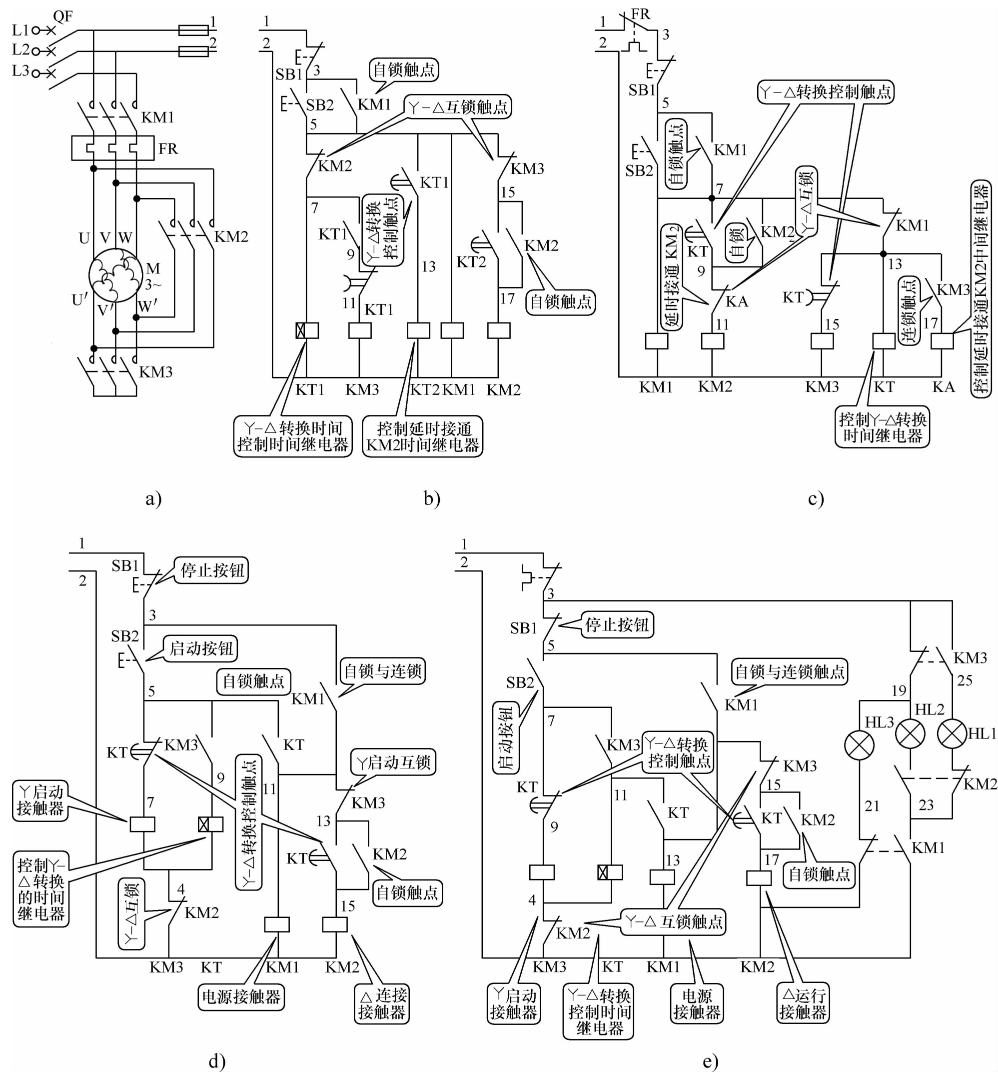


图 7-6　三相异步电动机Y-△起动控制另外参考电路图

3）采用Y-△减压起动的控制原则是什么？

4）采用Y-△减压起动的目的是什么？

5）采用Y-△减压起动最终控制的是什么物理量？

6）采用Y-△减压起动时，其电压能降低多少？其电流能降低多少？

7.2.4　三相异步电动机能耗制动控制实验

1. 实验目的

1）通过对三相异步电动机能耗制动控制电路的接线，掌握由电路原理图接成实际操作电路的方法。

2）掌握三相异步电动机能耗制动的原理和方法。

3）掌握三相异步电动机能耗制动的控制原则及时间继电器的应用。

4）掌握三相异步电动机能耗制动过程中交流运行电源接线和直流制动电源接线之间的互锁控制关系。

2. 选用器件

按照图 7-7 所示电路选择必备的低压电气元件：

1）三相交流异步笼型电动机　1 台

2）三极刀开关或自动空气开关　1 台

3）起动与停止按钮（绿、红）　各 1 个

4）三相交流接触器（交直流电源路接线用）　2 台

5）熔断器（与三极刀开关配套使用）　5 个

6）热继电器　1 台

7）时间继电器　1 台

8）48V 直流电源（硅整流桥及整流变压器等）　1 台

9）硅整流二极管　1 个

注：低压电气元件的选择参数应根据所选用电动机的容量计算确定。

3. 三相异步电动机能耗制动控制参考电路图

三相异步电动机能耗制动控制参考电路图如图 7-7 所示。

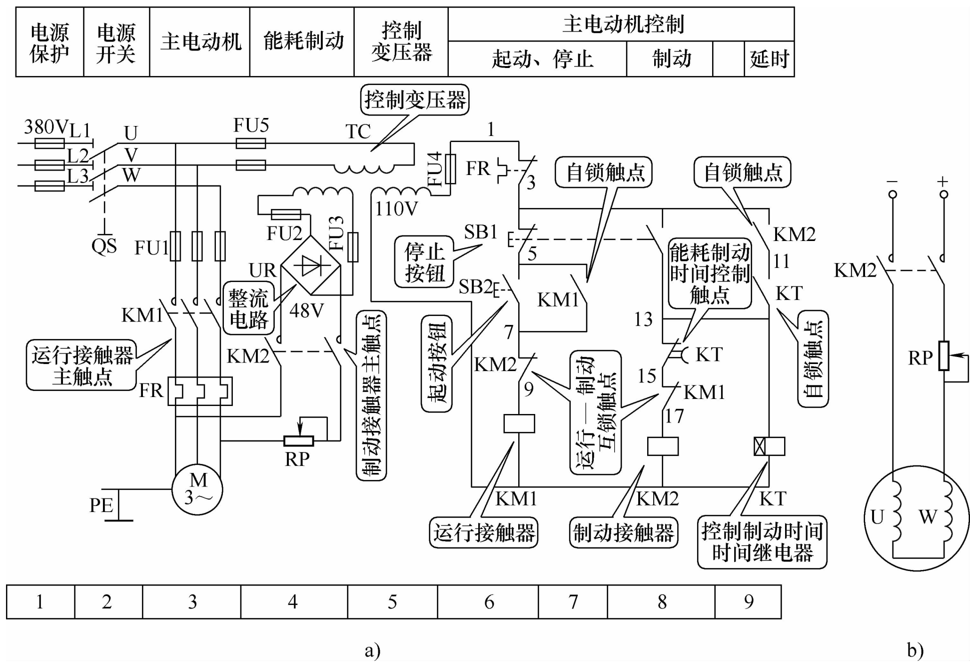


图 7-7　三相异步电动机能耗制动控制参考电路图

a）电路图　b）制动时的接线图

4. 实验过程

在图 7-7a 控制电路中，当按下停止复合按钮 SB1 时，其动断触点切断接触器 KM1 的线圈电路，同时其动合触点使 KM2 和时间继电器 KT 的线圈得电并自锁，电动机开始制动，KT 开始计时。SB1 按钮松开复位且当转速接近于 0 时，时间继电器 KT 的延时时间到（延时时间可根据制动实效而调节），制动结束，时间继电器 KT 的动断触点及时断开 KM2 线圈电路，切除直流制动电源。

能耗制动的制动转矩大小与通入直流电流的大小及电动机的转速 n 有关。在同样转速下，通入的直流电流大，制动作用强。一般接入的直流电流为电动机空载电流的 3 ~ 5 倍，过大会烧坏电动机的定子绕组，电路采用在直流电源回路中串接可调电阻的方法，来调节制动电流的大小。

按下停止复合按钮 SB1，观察能耗制动的效果，分析能耗制动的特点。

5. 其他参考电路

能耗制动也可采用无变压器单相半波整流能耗制动电路，如图 7-8 所示。当按下起动按钮 SB2 时，电动机 M 起动后高速运转。当按下制动停止按钮 SB1 时，切断电动机 M 的交流运行电源，同时按钮 SB1 在电路中 3 号线与 11 号线间的常开触点闭合，接触器 KM2 通电自保，单相电源从 L3 号线经过闭合的接触器 KM2 的触点进入电动机定子绕组（U 和 V 并联后在与 W 串连），然后从 W 号线出来，经整流二极管 V 整流，在电动机 M 的定子绕组中通入了直流电流，从而使得电动机 M 转子开始能耗制动，如图 7-8b 所示。能耗制动的时间由时间继电器计控，计时到，此时电动机 M 转子也停转了，由时间继电器延时断开的常闭接点及时切断直流制动电源。能耗制动的大小由串入整流二极管 V 电路中的电阻决定。

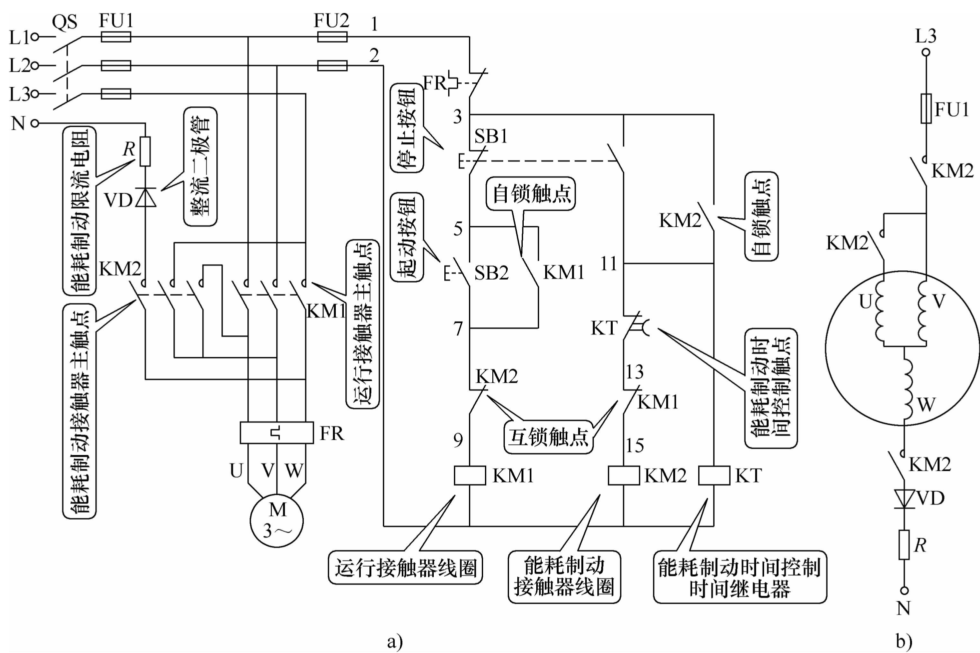


图 7-8　采用无变压器的单相半波整流能耗制动

a）电路图　b）制动时的接线图

6. 实验报告要求

（1）实验目的

（2）实验设备和器材

（3）实验内容和步骤

（4）实验电路图

（5）实验结果分析和实验结论

（6）回答问题：

1）交流异步电动机的能耗制动是如何实现的？时间继电器有何作用？

2）采用能耗制动时对电动机有何要求？

3）采用能耗制动的控制原则是什么？

4）采用能耗制动的目的是什么？

5）采用能耗制动最终控制的什是么物理量？

6）采用能耗制动时，其制动效果的强弱由什么决定？如何调整？

7）比较图 7-7 和图 7-8 两种整流能耗制动电路各有什么特点？

7.2.5　多台三相异步电动机的顺序控制实验（顺起逆停）

1. 实验目的

1）通过对多台三相异步电动机顺序控制电路的接线，掌握由电路原理图接成实际操作电路的方法。

2）掌握多台三相异步电动机顺序控制的原理和方法。

3）掌握多台三相异步电动机顺序控制的控制原则及时间继电器的应用。

4）掌握多台三相异步电动机顺序控制过程中接触器连锁控制环节的重要应用。

2. 选用器件

按照 4 台三相异步电动机顺序控制选择必备的低压电气元件：

1）三相交流异步笼型电动机	4 台
2）三极刀开关或自动空气开关	1 台
3）起动与停止按钮（绿、红）	各 4 个
4）三相交流接触器形	4 台
5）熔断器（与三极刀开关配套使用）	5 个
6）热继电器	4 台
7）时间继电器	4 台

注：低压电气元件的选择参数应根据所选用电动机的容量计算确定。

3. 多台三相异步电动机顺序控制参考电路图

1）两台三相异步电动机的顺序控制和顺起逆停控制参考电路图如图 7-9 所示。

2）由主电路（QS2）完成两台三相异步电动机的顺序控制如图 7-10 所示。

3）3 台三相异步电动机的顺起逆停控制参考电路图如图 7-11 所示，主电路省略。

4. 实验过程

在图 7-9b 控制电路中，当油泵电动机起动后，给主轴电动机送出一个联锁常开触点串接在主轴电动机起动电路中，使油泵电动机起动后主轴电动机才有可能起动运行。主轴电动

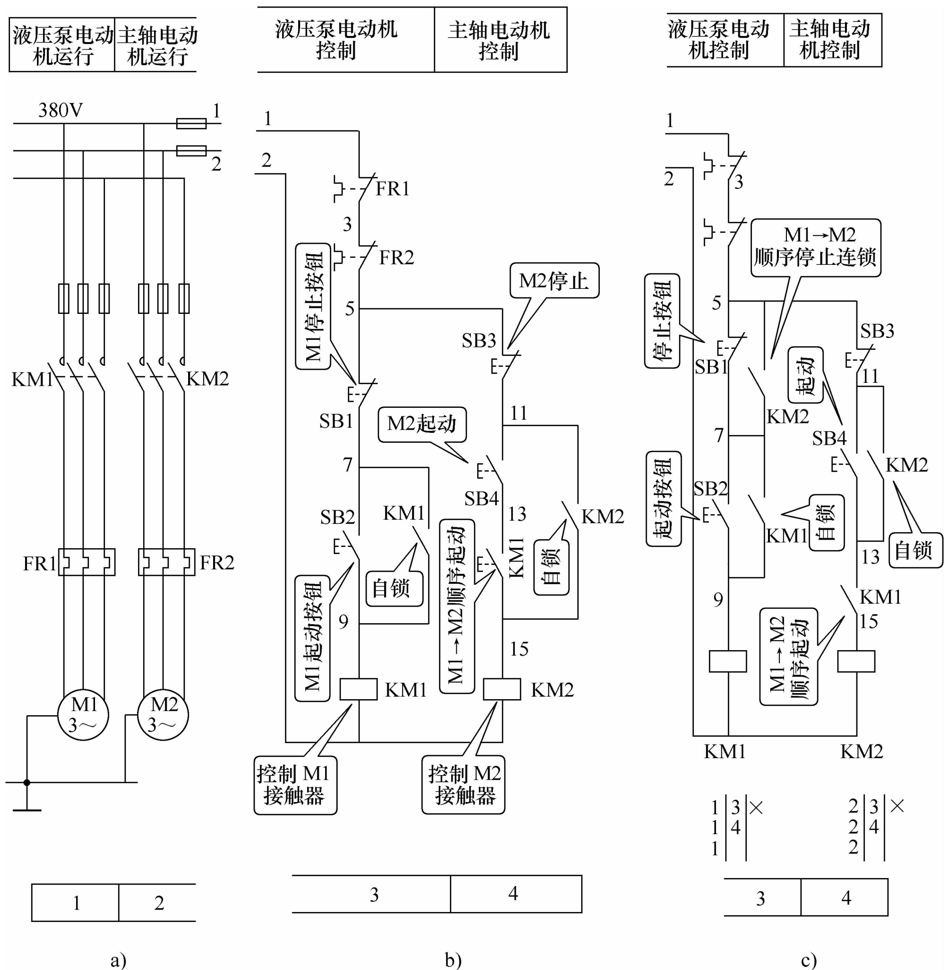


图 7-9　两台三相异步电动机的顺序控制和顺起逆停控制参考电路图
a）主电路　b）顺序控制　c）顺起逆停控制

机起动运行后，又给油泵电动机送出一个联锁常开触点并联在油泵电动机的停止按钮上，使主轴电动机停机后油泵电动机才有可能停机。实现了两台电动机的顺起逆停控制。

用同样的方法可实现 3 台电动机（如图 7-11b 所示）及更多台电动机的顺起逆停控制。

顺起逆停利用的是多台电动机的连锁控制环节。

顺起：只要把前级的联锁常开触点串接在后级的起动电路中（前后按起动顺次）。

逆停：只要把前级的联锁常开触点并接在后级的停止按钮上（前后按停机顺次）。

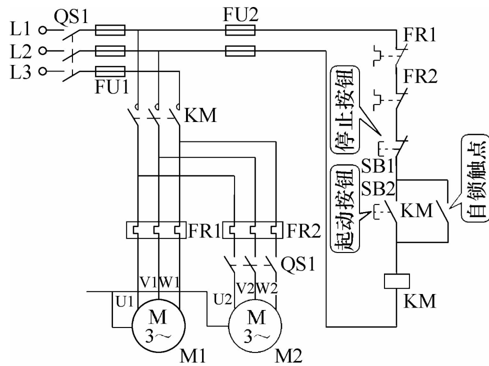


图 7-10　主电路完成顺序控制

依次顺序操作各台电动机，观察顺序控制的效果，分析顺序控制的特点。

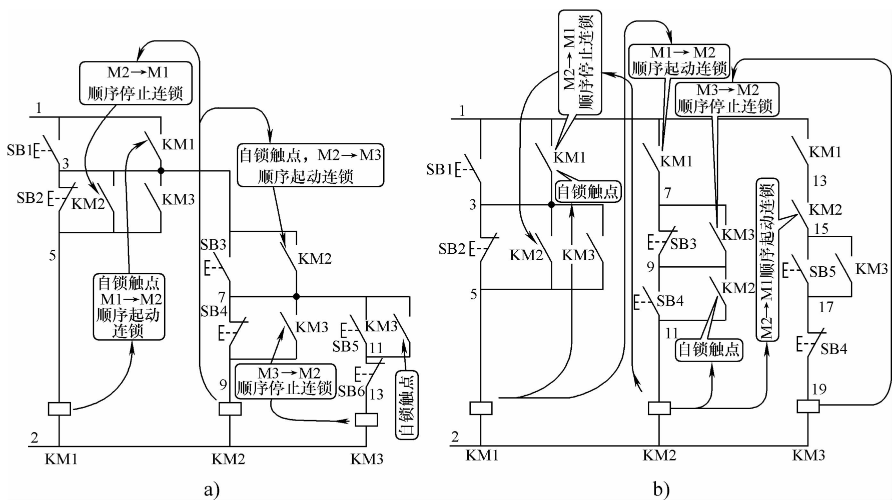


图 7-11　三台电动机的顺起逆停控制

5. 其他参考电路

顺序控制可推广到更多台异步电动机；也可利用时间继电器实现延时顺序控制。

1）N 台三相异步电动机的顺序控制如图 7-12 所示。

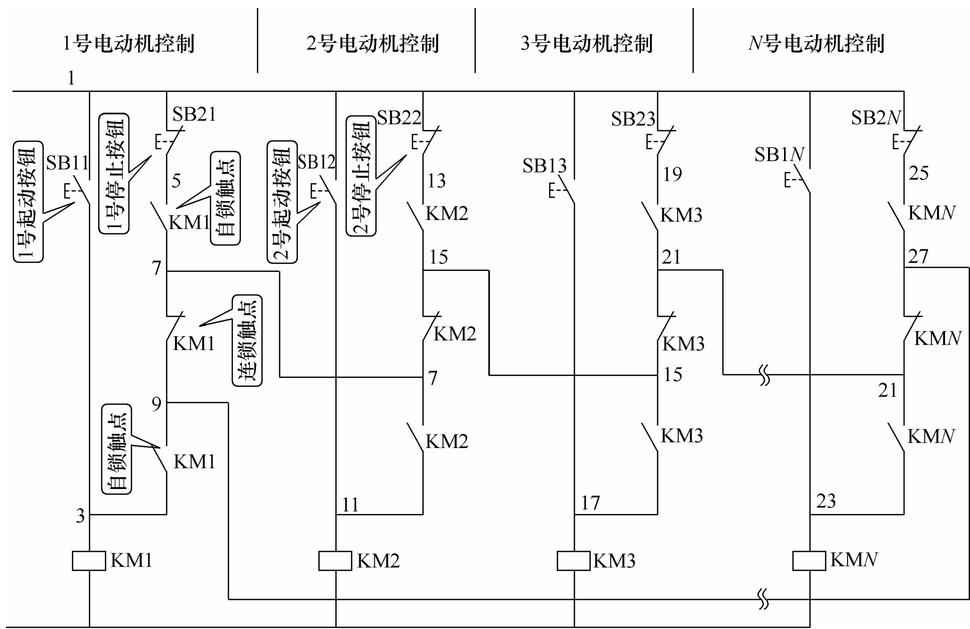


图 7-12　N 台三相异步电动机的顺序控制

2）用时间继电器控制原则实现的 3 台电动机的延时顺起逆停控制如图 7-13 所示。

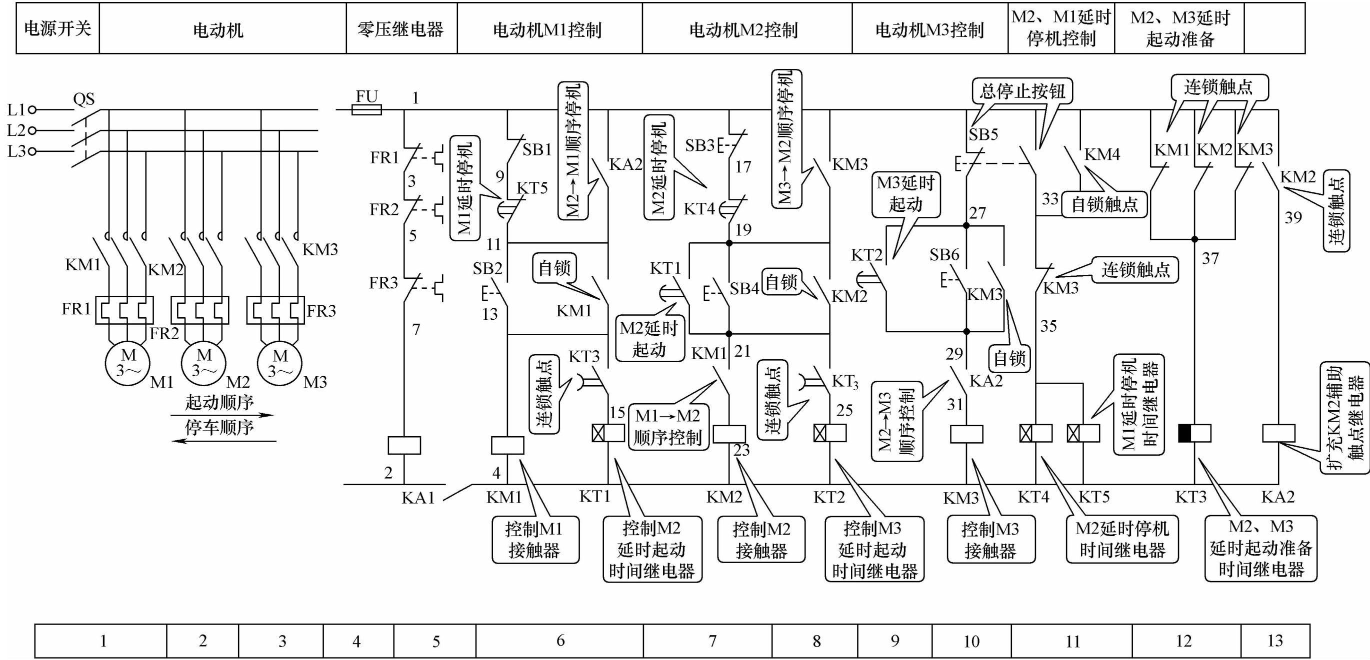


图 7-13　3 台电动机的延时顺起逆停控制

6. 实验报告要求

（1）实验目的

（2）实验设备和器材

（3）实验内容和步骤

（4）实验电路图

（5）实验结果分析和实验结论

（6）回答问题：

1）顺序控制是如何实现的？

2）顺起逆停控制是如何实现的？

3）延时顺起逆停是如何实现的？

4）连锁控制环节对顺序控制有何作用？

5）如何实现更多台电动机的顺起逆停？

7.2.6 三相异步电动机的多地点控制实验

1. 实验目的

1）通过对 1 台三相异步电动机的多地点控制电路的接线，掌握由电路原理图接成实际操作电路的方法。

2）掌握 1 台三相异步电动机的多地点控制的原理和方法。

3）掌握 1 台三相异步电动机多地点控制过程中接触器自锁控制环节的重要应用。

2. 选用器件

按照一台三相异步电动机 3 地点控制选择必备的低压电气元件：

1）三相交流异步笼型电动机	1 台
2）三极刀开关或自动空气开关	1 台
3）起动与停止按钮（绿、红）	各 3 个
4）三相交流接触器	1 台
5）熔断器（与三极刀开关配套使用）	5 个
6）热继电器	1 台

注：低压电气元件的选择参数应根据所选用电动机的容量计算确定。

3. 1 台三相异步电动机的多地点控制参考电路图

1 台三相异步电动机 3 地点控制的参考电路图如图 7-14 所示。

4. 实验过程说明

图 7-14a 和图 7-14b 为 3 地点单独控制 1 台电动机，所采用的仍然是具有“自锁”控制环节的“起-保-停”控制电路，只是需要将 3 个起动用的常开触点并联后再与接触器的“自锁”常开触点并联，3 个停止用的常闭触点相串联；3 个地点分别需要安装一套“起/停”按钮。图 7-14c 为 3 地点共同控制 1 台电动机，所采用的也是具有“自锁”控制环节的“起-保-停”控制电路，只是需要将 3 个起动用的常开触点串联后再与接触器的“自锁”常开触点并联，3 个停止用的常闭触点并串联；3 个地点分别需要安装一套“起/停”按钮，常用于对重要设备的共同控制。

分别从不同地点操作起/停电动机，观察多地点控制的效果，分析多地点控制的特点。

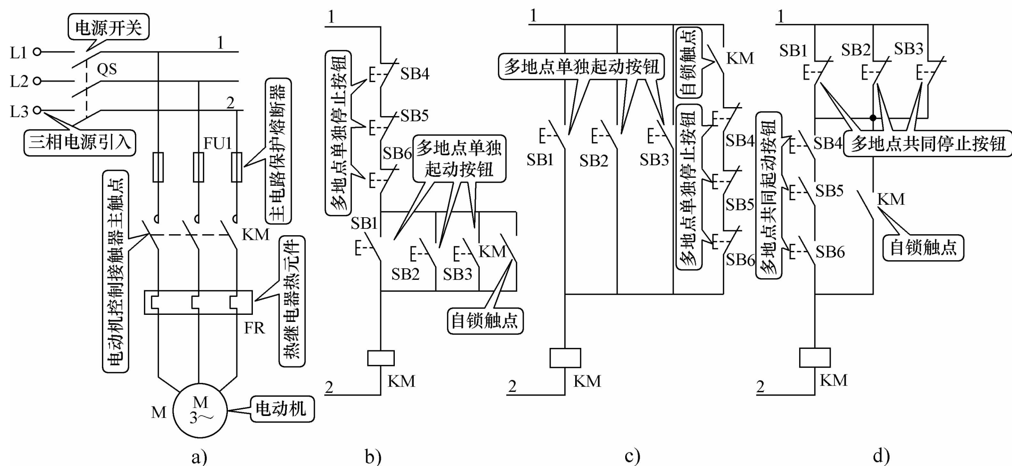


图 7-14　1 台三相异步电动机 3 地点控制的参考电路图

5. 实验报告要求

（1）实验目的

（2）实验设备和器材

（3）实验内容和步骤

（4）实验电路图

（5）实验结果分析和实验结论

（6）回答问题：

1）3 地点单独控制 1 台电动机是如何实现的？

2）3 地点共同控制 1 台电动机是如何实现的？

3）“自锁”控制环节在多地点控制中有什么重要作用？

7.2.7　三相异步电动机的减压起动控制实验

1. 实验目的

1）通过对 1 台三相异步电动机的采用减压起动控制电路的接线，掌握由电路原理图接成实际操作电路的方法。

2）掌握 1 台三相异步电动机的减压起动控制的原理和方法。

3）掌握 1 台三相异步电动机减压起动控制过程中时间继电器的应用。

2. 选用器件

按照一台三相异步电动机减压起动控制选择必备的低压电气元件：

1）三相交流异步笼型电动机　1 台

2）三极刀开关或自动空气开关　1 台

3）起动与停止按钮（绿、红）　各 1 个

4）三相交流接触器 2 台
5）熔断器（与三极刀开关配套使用） 5 个
6）时间继电器 1 台
7）热继电器 1 台
8）起动用串联电阻器 3 台
9）起动用自耦变压器 1 台

注：低压电气元件的选择参数应根据所选用电动机的容量计算确定。

3. 1 台三相异步电动机的串电阻减压起动控制参考电路图

1 台三相异步电动机串电阻减压起动控制的参考电路图（如图 7-15 所示）。

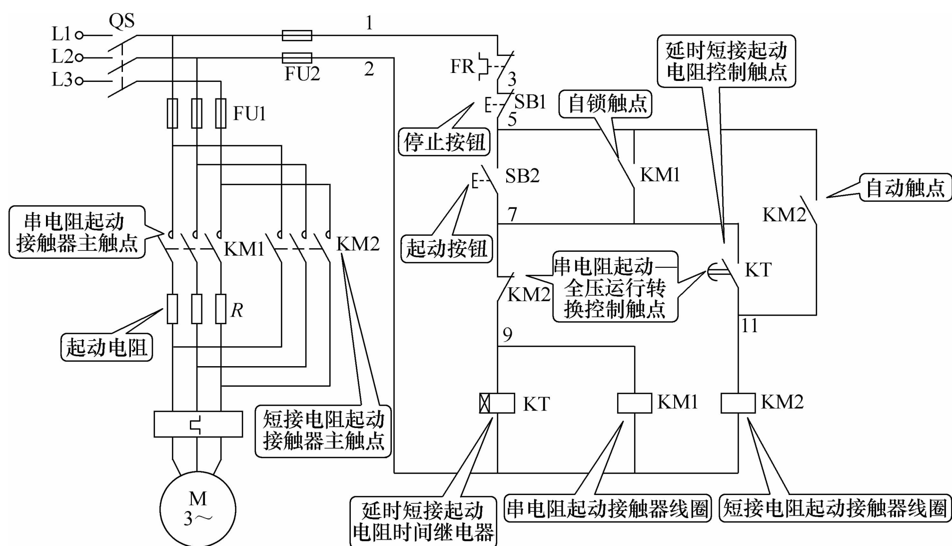


图 7-15 1 台三相异步电动机串电阻减压起动控制的参考电路图

4. 实验过程说明

电动机减压起动的目的是为了减少起动电流，图 7-15 是采用串电阻减压起动的方法。按起动按钮 SB2，KM1 得电自保，电动机串电阻减压开始起动，时间继电器开始计时；当起动电流降下来后，时间继电器延时时间到，以时间控制原则切除串联的电阻，将串电阻减压起动切换到全压运行。

反复操作几次，观察减压起动控制的效果，分析减压起动控制的特点。

5. 其他参考电路

1）对笼型电动机还可采用自耦变压器减压起动的方法（如图 7-16 和图 7-17 所示）。

2）对绕线转子异步电动机还可采用转子串电阻逐级切除的方法减少起动电流（如图 7-18 所示）。

6. 实验报告要求

（1）实验目的
（2）实验设备和器材
（3）实验内容和步骤

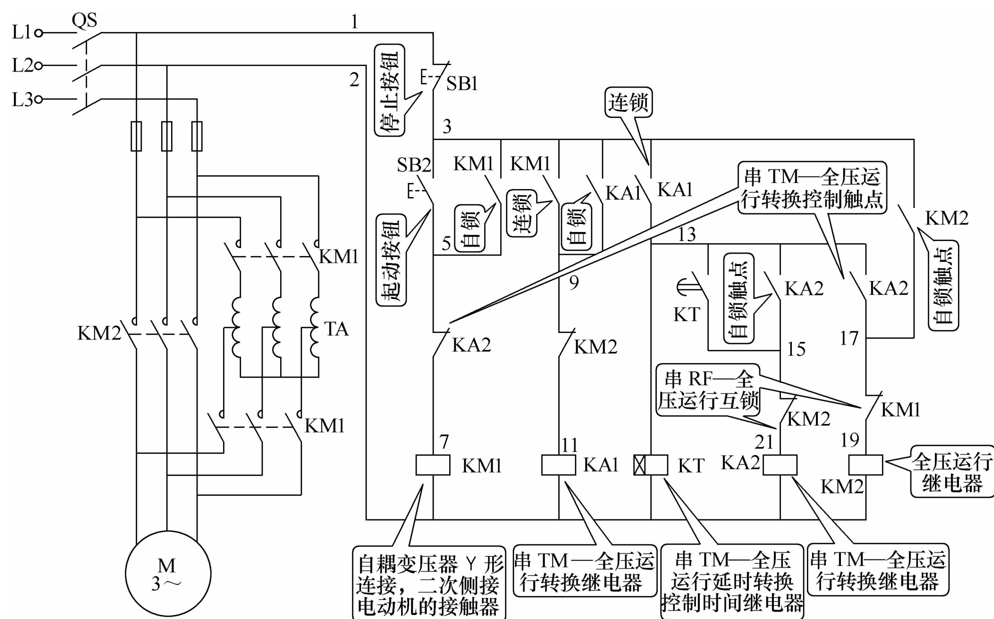


图 7-16　笼型异步电动机采用自耦变压器减压起动控制的参考电路图（1）

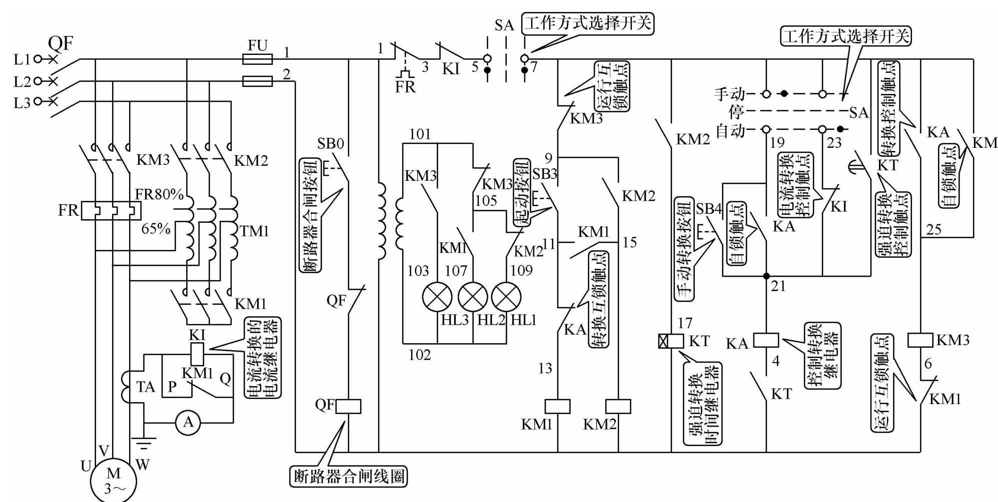


图 7-17　笼型异步电动机采用自耦变压器减压起动控制的参考电路图（2）

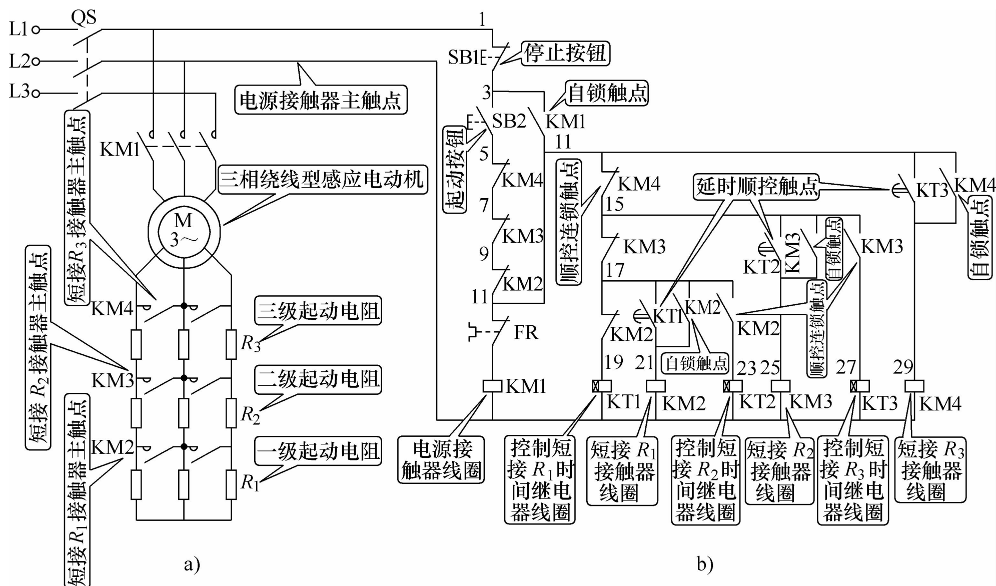


图 7-18　绕线转子异步电动机采用转子串电阻逐级切除的方法减少起动电流

（4）实验电路图

（5）实验结果分析和实验结论小结

（6）回答问题：

1）三相异步电动机串电阻减压起动控制是如何实现的？

2）三相异步电动机自耦变压器减压起动控制是如何实现的？

3）绕线转子异步电动机采用转子串电阻逐级切除的方法减少起动电流是如何实现的？

4）在三相异步电动机采用减压起动控制电路中，时间继电器有什么作用？

7. 2. 8　三相异步电动机的反接制动控制实验

1. 实验目的

1）通过对三相异步电动机反接制动控制电路的接线，掌握由电路原理图接成实际操作电路的方法。

2）掌握三相异步电动机反接制动的原理和方法。

3）掌握三相异步电动机反接制动的控制原则及速度继电器的应用。

4）掌握三相异步电动机反接制动过程中交流运行电源接线和反接制动电源接线之间的互锁控制关系。

2. 选用器件

按照异步电动机正反转双向反接制动控制选择必备的低压电气元件：

1）三相交流异步笼型电动机　　1 台

2）三极刀开关或自动空气开关　1 台
3）起动与停止按钮（绿、红）　绿 2 个、红 1 个
4）三相交流接触器　2 台
5）熔断器（与三极刀开关配套使用）　5 个
6）热继电器　1 台
7）速度继电器　1 台

注：低压电气元件的选择参数应根据所选用电动机的容量计算确定。

3. 三相异步电动机反接制动控制参考电路图

三相异步电动机单向反接制动控制参考电路如图 7-19 所示。

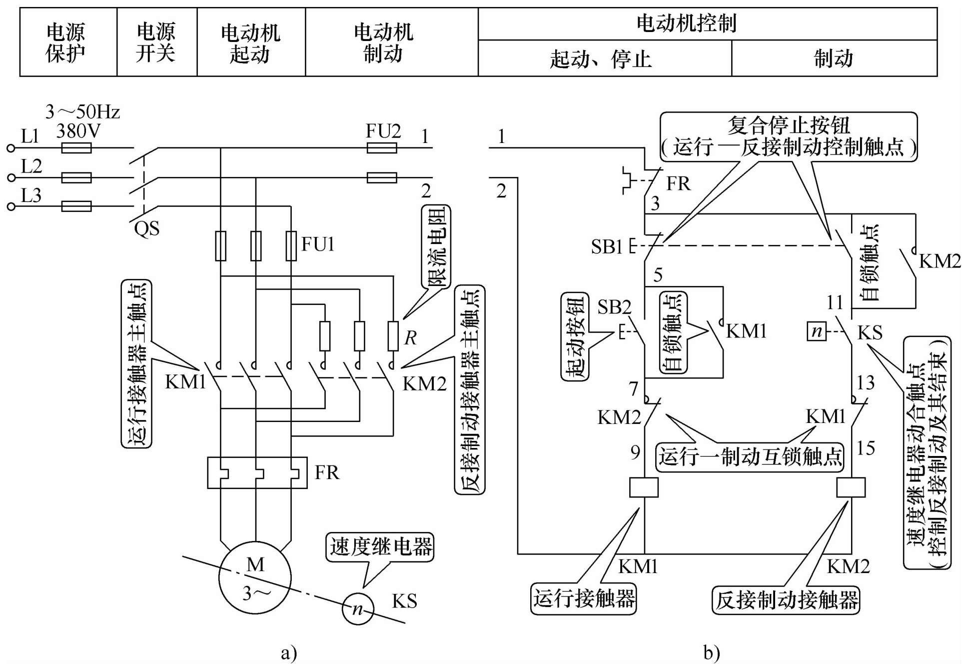


图 7-19　三相异步电动机单向反接制动控制

4. 实验过程说明

电动机反接制动目的是为了减少快速停机。图 7-19 是三相异步电动机单向反接制动控制。按起动按钮 SB2，KM1 得电自保，电动机开始起动，电动机转速从 0 开始上升到 n_N 后正常运行。当 $n \geqslant 120\text{r/min}$ 时，速度继电器的动合触点闭合，为电动机停机时加反接制动电源作好准备。

按停止按钮 SB1，KM1 失电，切除电动机运行电源；同时 KM2 得电自保，电动机开反接制动，电动机转速快速下降，当 $n \leqslant 100\text{r/min}$ 时，速度继电器的动合触点复位打开，及时切断反接制动电源。这里采用转速控制原则是为了当电动机转速接近于 0 时能准确及时地切断反接制动电源，防止电动机反向起动。

按下停止复合按钮 SB1，观察反接制动的效果，分析反接制动的特点。

5. 其他参考电路

三相异步电动机正反转双向反接制动控制（1）、（2）分别如图 7-20、图 7-21 所示。

1	2	3	4	5	6	7



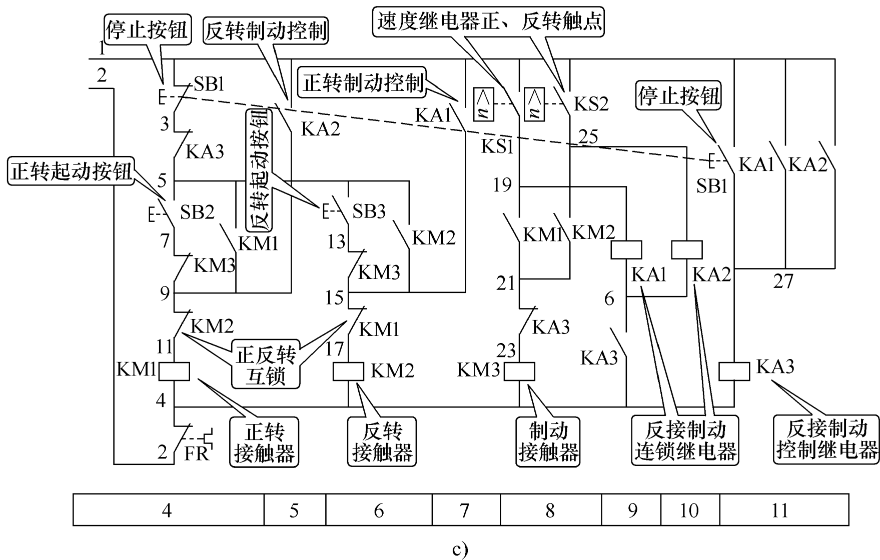
图 7-20　三相异步电动机正反转双向反接制动控制（1）

电源开关	电动机正转	电动机反转	控制电路保护	正向运转及反接制动	反向运转及反接制动	起动、制动时串电阻

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

a)　　b)

图 7-21　三相异步电动机正反转双向反接制动控制（2）



c)

图 7-21　三相异步电动机正反转双向反接制动控制（2）（续）

6. 实验报告要求

（1）实验目的

（2）实验设备和器材

（3）实验内容和步骤

（4）实验电路图

（5）实验结果分析和实验结论

（6）回答问题：

1）三相异步电动机单向反接制动控制是如何实现的？

2）三相异步电动机双向反接制动控制是如何实现的？

3）三相异步电动机双向反接制动控制为什么一定要采用转速控制原则？

4）在三相异步电动机采用反接制动控制电路中，互锁有什么作用？

7.2.9　双速异步电动机的高/低速制动控制实验

1. 实验目的

1）通过对双速异步电动机的高/低速控制电路的接线，掌握由电路原理图接成实际操作电路的方法。

2）掌握双速异步电动机的高/低速控制的原理和方法。

3）掌握双速异步电动机的高/低速控制的控制原则及时间继电器的应用。

4）掌握双速异步电动机高/低速控制过程中高/低速控制之间的互锁控制关系。

2. 选用器件

按照图 7-23 所示电路选择必备的低压电气元件：

1）能变极（P）的三相交流异步电动机	1 台
2）三极刀开关或自动空气开关	1 台
3）起动与停止按钮（绿、红）	各 1 个
4）转换开关	1 个
5）三相交流接触器	3 台
6）熔断器（与三极刀开关配套使用）	5 个
7）热继电器	2 台
8）时间继电器	1 台

注：低压电气元件的选择参数应根据所选用电动机的容量计算确定。

3. 三相异步电动机高/低速控制参考电路图

三相异步电动机高/低速控制参考电路如图 7-22 和图 7-23 所示。

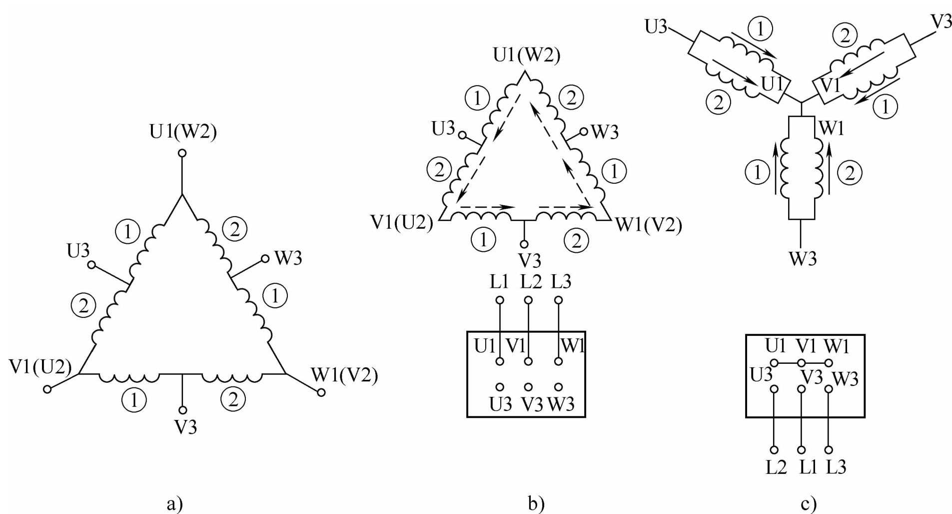


图 7-22　三相异步电动机/低速控制的绕组接线方式

a）绕组形式　b）△接法—低速　c）丫丫接法—高速

4. 实验过程说明

三相异步电动机高/低速控制是为了调速。图 7-22 是三相异步电动机高/低速控制的绕组接线方式，采用的是变极（P）调速方法。图 7-23 是三相异步电动机高/低速控制的电路图。图 7-23b 是低速起动，高速运行，利用时间控制原则切换的电路图。图 7-23c 是既能低速运行，又能高速运行的电路图，利用转换开关转换。在图 7-23c 中，当转换开关 SA 扳到低速位置，KM1 得电，电动机 M 的绕组△接线，低速运行；当转换开关 SA 扳到高速位置，首先 KM1 得电和 KT 得电，电动机 M 低速起动；然后利用时间控制原则切换的高速运行（电动机 M 的绕组电动机丫丫接线）。高/低速之间采用接触器互锁。

反复操作几次，观察高/低速控制的效果，分析高/低速控制的特点。

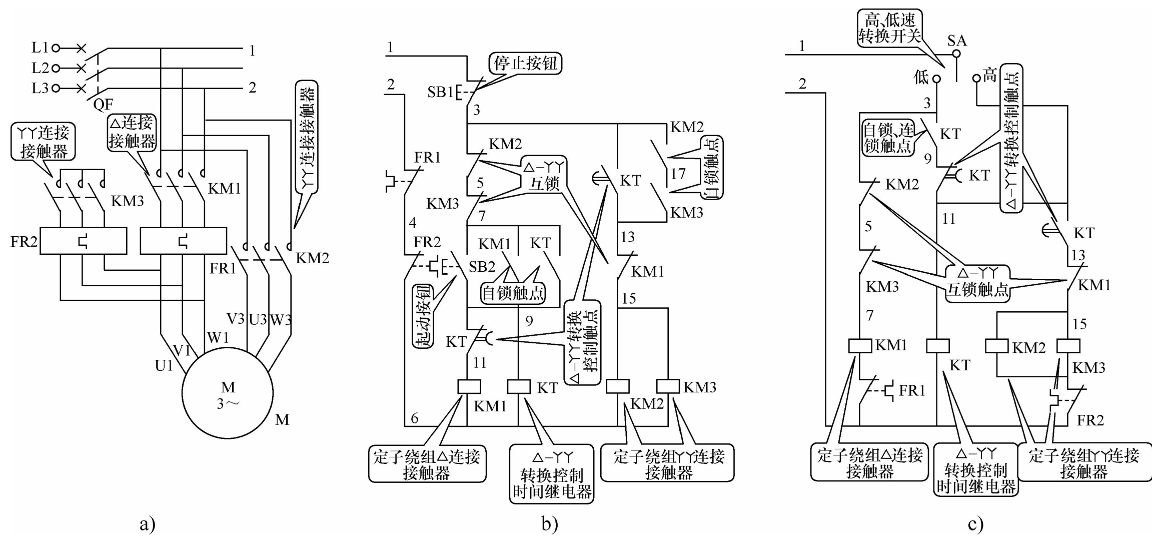


图 7-23　三相异步电动机/低速控制的参考电路图

5. 其他参考电路（如图 7-24 所示）

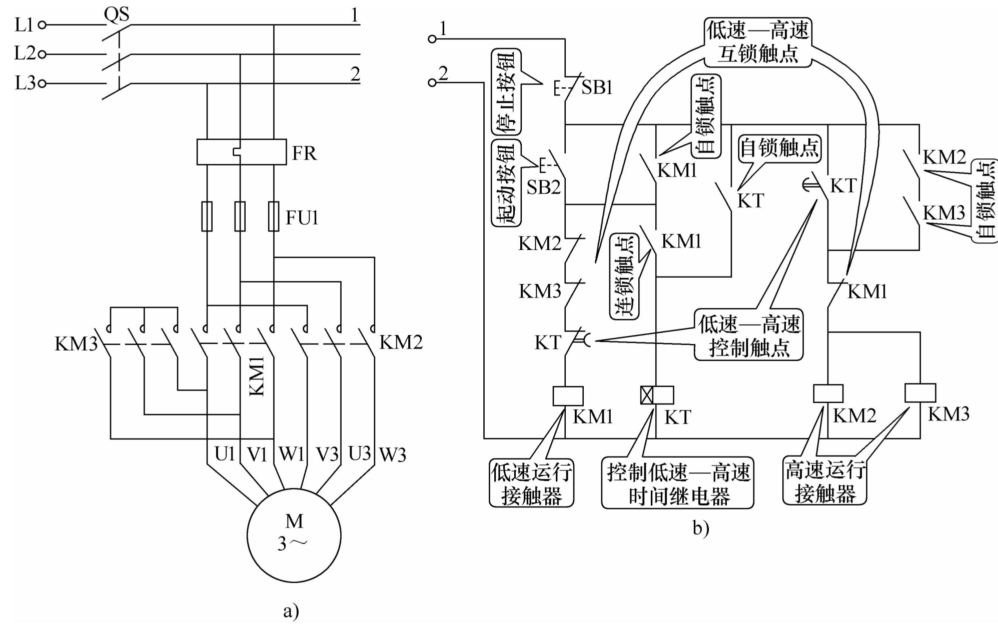


图 7-24　三相异步电动机高/低速控制的其他参考电路图

a）双速电动机单元主电路　b）双速电动机单元控制电路

6. 实验报告要求

（1）实验目的

（2）实验设备和器材

（3）实验内容和步骤

（4）实验电路图

（5）实验结果分析和实验结论

（6）回答问题：

1）三相异步电动机高/低速控制采用的是什么调速方法？

2）三相异步电动机高/低速控制是如何实现的？

3）三相异步电动机在高速运行时为什么要先低速起动，然后再高速运行？

4）在三相异步电动机高/低速控制电路中，互锁有什么作用？

5）三相异步电动机高/低速切换的控制原则是什么？

7.2.10 三相异步电动机常用的保护控制实验

1. 实验目的

1）通过对三相异步电动机常用的保护控制电路的接线，掌握由电路原理图接成实际操作电路的方法。

2）掌握三相异步电动机常用的保护控制的原理和方法。

3）掌握三相异步电动机常用的保护控制的控制原则及保护器件的应用。

4）掌握三相异步电动机常用的保护控制的相互关系。

2. 选用器件

按照图 7-23 所示电路选择必备的低压电气元件：

1）三相交流异步电动机	1 台
2）三极刀开关或自动空气开关	1 台
3）起动与停止按钮（绿、红）	绿 2 个、红 1 个
4）转换开关	1 个
5）三相交流接触器	3 台
6）熔断器（与三极刀开关配套使用）	5 个
7）热继电器	2 台
8）欠电压继电器	1 台
9）过电流继电器	1 台
10）中间继电器	1 台

注：低压电气元件的选择参数应根据所选用电动机的容量计算确定。

3. 三相异步电动机常用的保护控制参考电路图（如图 7-25 所示）

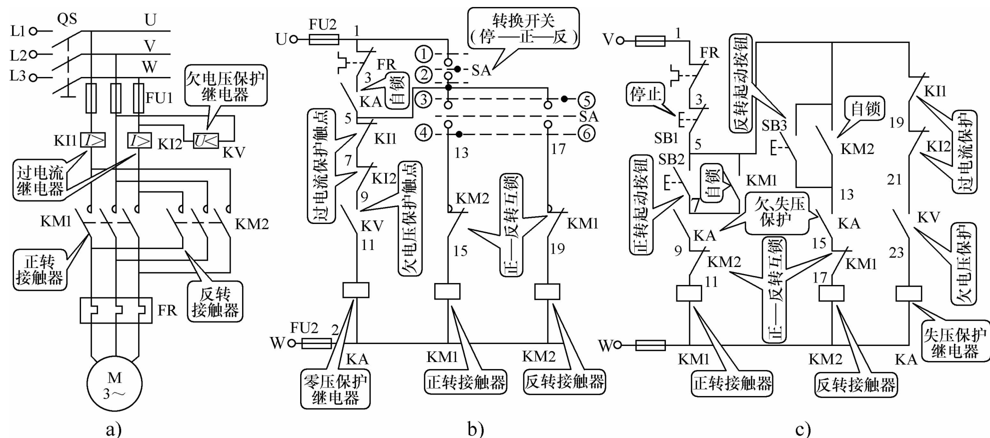


图 7-25 三相异步电动机常用的保护控制参考电路图

4. 实验过程说明

三相异步电动机常用的保护设施是电动机安全可靠运行的保障。三相异步笼型电动机一般设有短路、过载、零压、欠电压、自锁、互锁等保护。笼型电动机一般不设有过电流，若设有过电流则必须采取措施，要使其过电流的整定值躲过笼型电动机的起动电流，否则笼型电动机起动不了。电动机保护设施的动作，是在故障状态发生的，故其实验只能是模拟。

反复模拟操作几次，观察各种保护设施的效果，分析各种保护设施的特点。

5. 实验报告要求

（1）实验目的

（2）实验设备和器材

（3）实验内容和步骤

（4）实验电路图

（5）进行实验结果分析和实验结论小结

（6）回答问题：

1）三相异步电动机短路保护是如何实现的？

2）三相异步电动机过载保护是如何实现的？

3）三相异步电动机零压保护是如何实现的？

4）三相异步电动机欠电压保护是如何实现的？

5）三相异步电动机过电流保护如何实现？

6）三相异步电动机过载保护能否代替短路保护？

7）三相异步电动机短路保护能否代替过载保护？

8）三相异步电动机过载保护和过电流保护有何不同？

7.3　PLC 控制技术实验指导

7.3.1　电动机 PLC 控制系统实验

1. 实验目的

本实验主要实现 PLC 控制电动机的起动、停止和正反转控制。

2. 实验设备

本实验选用西门子公司的 S7—200 系列小型 PLC—CPU222 作为控制器；使用 4 个按钮和两个继电器作为外围设备，分别控制电动机的起动、停止和正反转。

本实验使用带有 STEP 7—Micro/WIN32 编程软件的计算机作为编程工具进行软件编程。

3. 编制 PLC 的输入/输出分配表（见表 7-1）

表 7-1　I/O 分配表

编　　号	地　　址	说　　明	功　　能
2 路数字输出			
1	Q0.0	继电器 K_1	控制电动机的起停
2	Q0.1	继电器 K_2	控制电动机的正反转

（续）

编　　号	地　　址	说　　明	功　　能
4 路数字输入			
1	I0. 0	按钮 SB_1	电动机的起动
2	I0. 1	按钮 SB_2	电动机的停止
3	I0. 2	按钮 SB_3	电动机的正转
4	I0. 3	按钮 SB_4	电动机的反转

4. PLC 的硬件连接图（见图 7-26 和图 7-27 所示）

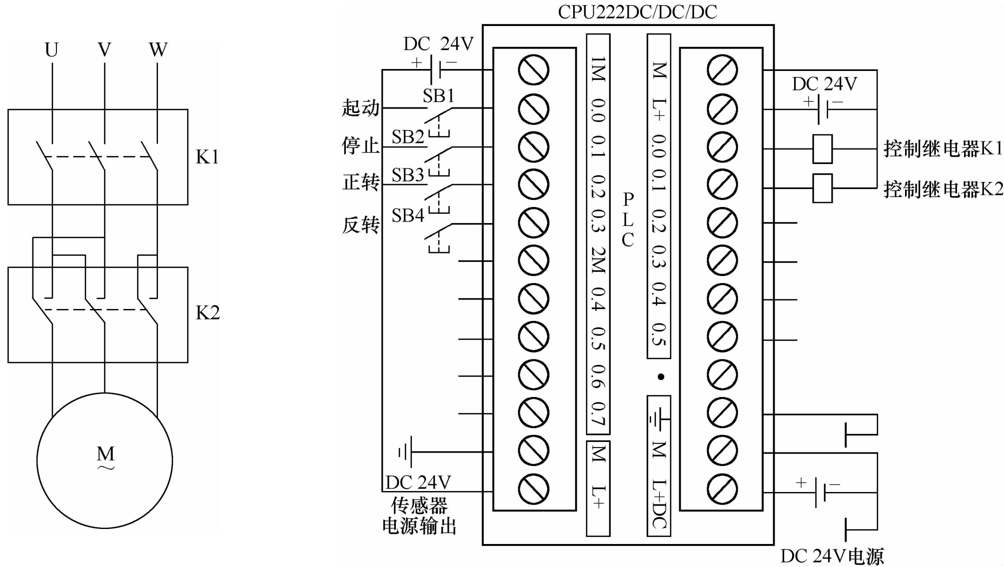


图 7-26　主电路　　　　图 7-27　PLC 控制接线图

5. 电动机正反转流程图（如图 7-28 所示）

6. 电动机正反转逻辑控制电路图（见图 7-29 所示）

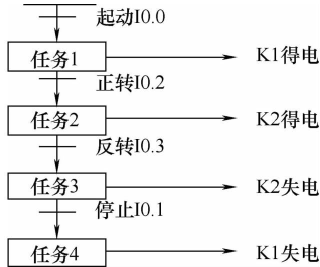


图 7-28　电动机正反转流程图

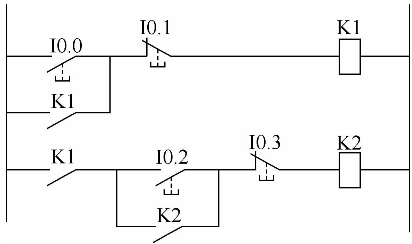


图 7-29　电动机正反转逻辑控制电路图

7. 编写电动机正反转控制的软件程序

（1）新建工程

单击“New”新建工程，如图 7-30 所示，然后弹出图 7-31 所示新建工程，默认“项目 1（CPU 226）”，可修改。右键单击此项弹出“类型”选项条。

（2）选择 CPU 类型

单击“类型”，如图 7-32 所示（注：单击指左键单击）。

选择 CPU 类型，如图 7-33 所示。点击下拉菜单，选择 PLC 类型，按确定，完成 PLC 选型。

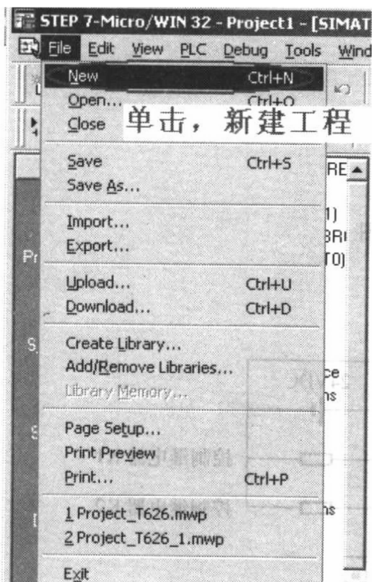


图 7-30　新建工程（1）

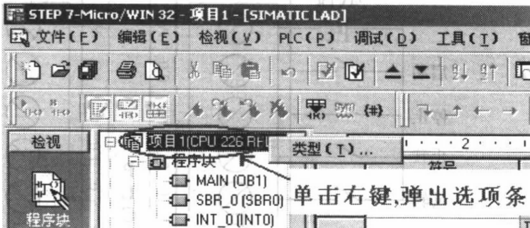


图 7-31　新建工程（2）



图 7-32　单击“类型”

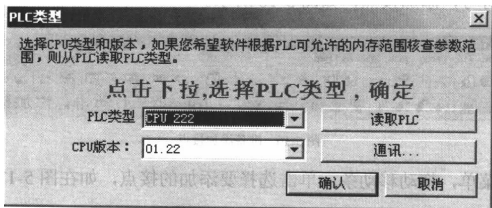


图 7-33　选择 PLC 类型

（3）编写程序

当按下“起动”键，则电动机开始转动；当按下“正转”键，则电动机正转；当按下“反转”键，则电动机反转；当按下“停止”键，则电动机停止转动。

1）选择 MAIN，输入名称，准备进行编写程序。

①单击“MAIN”。

②选中“Network1”上方文字处，单击全选后，输入主程序名称，如图 7-34 所示。

2）选择网络。单击“Network1”下方，选中有箭头处的网络，如图 7-35 所示。

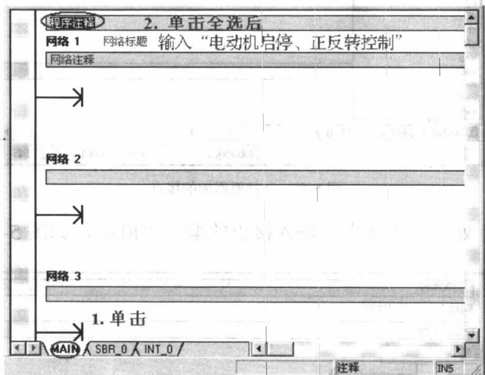


图 7-34　输入主程序名

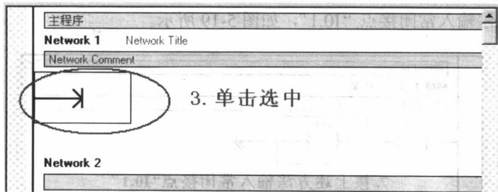


图 7-35　选择网络

3）单击图示符号，添加接点，如图 7-36 所示。

4）弹出图示菜单，拖动移动条，单击选择要添加的接点，如在图 7-37 中单击“-‖-”。

5）在“??．?”处，单击选中，输入接点的编号“I0.0”，如图 7-38 所示。

输入编号的效果如图 7-39 所示。

6）按上述方法输入常闭接点“I0.1”，如图 7-39 所示。

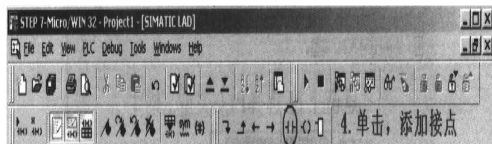


图 7-36　准备添加接点

7）添加线圈并实现自锁，如图 7-40～7-45 所示。

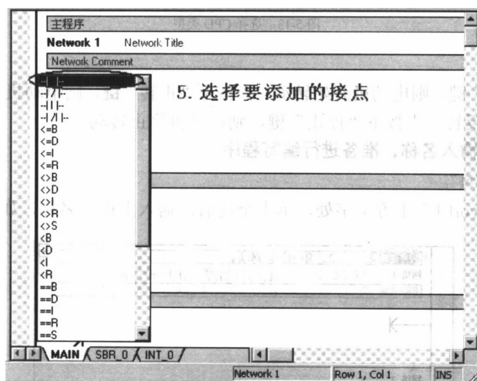


图 7-37　选择要添加的接点

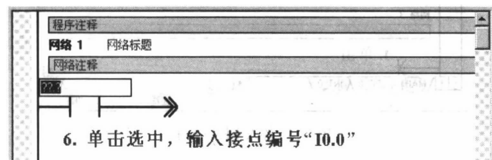


图 7-38　输入接点编号

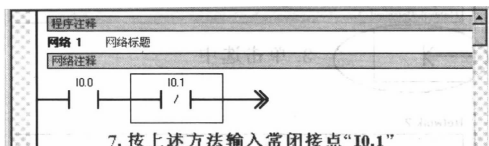


图 7-39　输入编号效果图

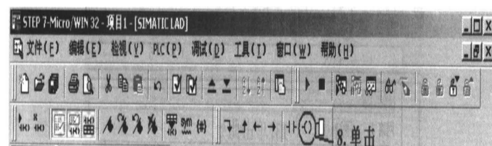


图 7-40　单击线圈按钮

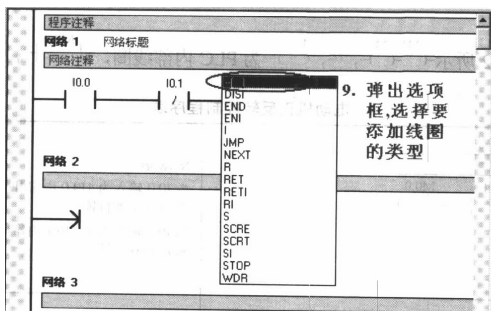


图 7-41　选择添加线圈的类型

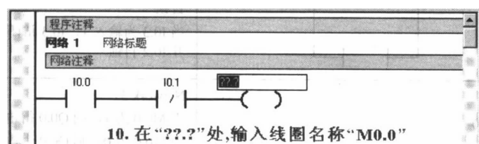


图 7-42　输入线圈名称

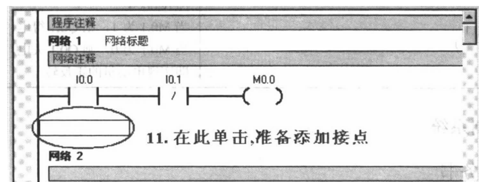


图 7-43　准备添加接点

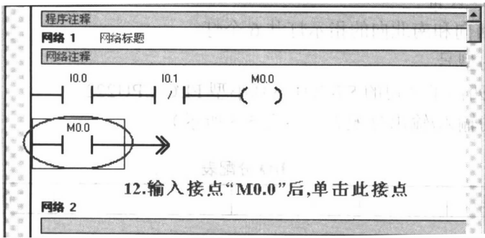


图 7-44　输入接点

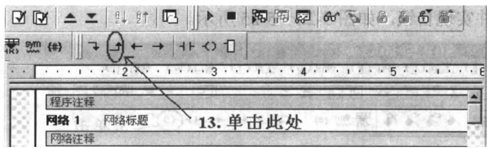


图 7-45　单击向上分支按钮

8）程序见表 7-2［—(M0.0)—，—(M0.1)—为 PLC 内部线圈，—| M0.0 |—，—| M0.1 |—为内部触点］。

表 7-2　电动机正反转控制程序表

Network 1 网络标题 网络注释 I0.0　I0.1　M0.0 M0.0	Network1 当 I0.0 输入为 1，I0.0 由常开变闭合，则 M0.0 得电，并对 I0.0 实现自锁 当 I0.0 输入为 1，I0.1 由常闭变断开则 M0.0 失电，并断开 I0.0 自锁
Network 2 M0.0　I0.3　I0.2　M0.1 M0.1	Network2 当 M0.0、I0.2 输入为 1，则 M0.1 得电，并对 I0.2 实现自锁 当 I0.3 为输入 1，I0.3 常闭变断开则 M0.1 失电，并断开 I0.2 自锁
Network 3 M0.0　Q0.0	Network3 当 M0.0 为 1，则 Q0.0 得电 当 M0.0 为 0，则 Q0.0 失电 即实现电动机的启停
Network 4 M0.1　Q0.1	Network4 当 M0.1 为 1，则 Q0.1 得电 当 M0.1 为 0，则 Q0.1 失电 即实现电动机的正反转

8. 编写实验报告（略）

7.3.2　继电器类指令实验

1. 实验目的

1）熟悉和掌握所使用 PLC 以及实验设备的功能、特点及使用方法。

2）熟悉和掌握西门子 S7-200 系列 PLC 的硬、软件功能和性能。

3）掌握 S7-200 系列 PLC 继电器类指令的编程方法，根据要求编写控制程序。

2. 实验设备

1）S7-200 系列 PLC 主机模块。

2）S7-200 系列 PLC 实验设备的相关模板。

3）电源模板。

4）带有 STEP 7-Micro/WIN32 编程软件的计算机。

3. 实验内容

1）设计照明灯的两地控制电路。

2）设计照明灯的 3 地控制电路。

3）电动机正反转控制电路。

4）小车直线行驶自动往返控制电路。

4. 实验步骤

（1）设计照明灯的两地控制电路

1）I/O 分配表：

①输入信号：I0.0—1 号开关；I0.1—2 号开关。

②输出信号：Q0.0—照明灯。

2）参考梯形图和语句表程序（如图 7-46 所示）。

（2）设计照明灯的 3 地控制电路

1）I/O 分配表：

①输入信号：I0.0—1 号开关；I0.1—2 号开关；I0.2—3 号开关。

②输出信号：Q0.0—照明灯。

2）参考梯形图和语句表程序（如图 7-47 所示）。

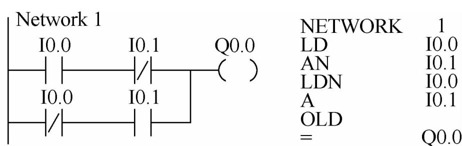


图 7-46　两地 PLC 控制

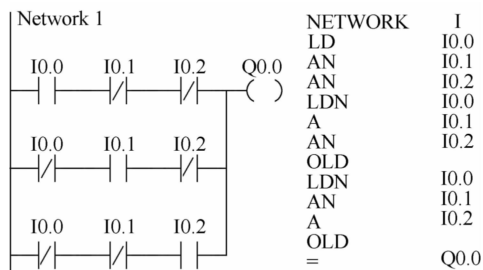


图 7-47　三地 PLC 控制

（3）电动机正反转控制电路

1）I/O 分配表：

①输入信号：I0.0—正转按钮；I0.1—反转按钮；I0.2—停止按钮；I0.3—热继电器。

②输出信号：Q0.0—正转线圈；Q0.1—反转线圈。

2）参考梯形图和语句表程序（如图 7-48 所示）。

（4）小车自动往返控制电路

1）I/O 分配表：

①输入信号：I0.0—停止按钮；I0.1—正转按钮；I0.2—反转按钮；I0.3—热继电器；I0.4—正向限位开关；I0.5—反向限位开关。

②输出信号：Q0.0—正转线圈；Q0.1—反转线圈。

2）参考梯形图和语句表程序（如图 7-49 所示）。

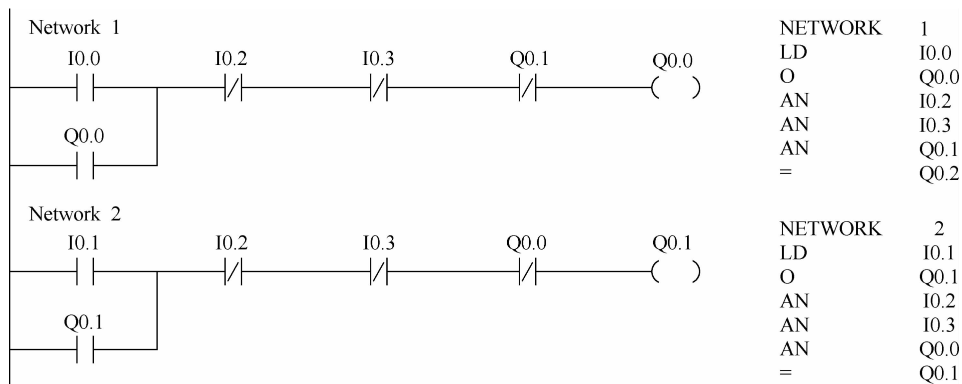


图 7-48　电动机正反转 PLC 控制

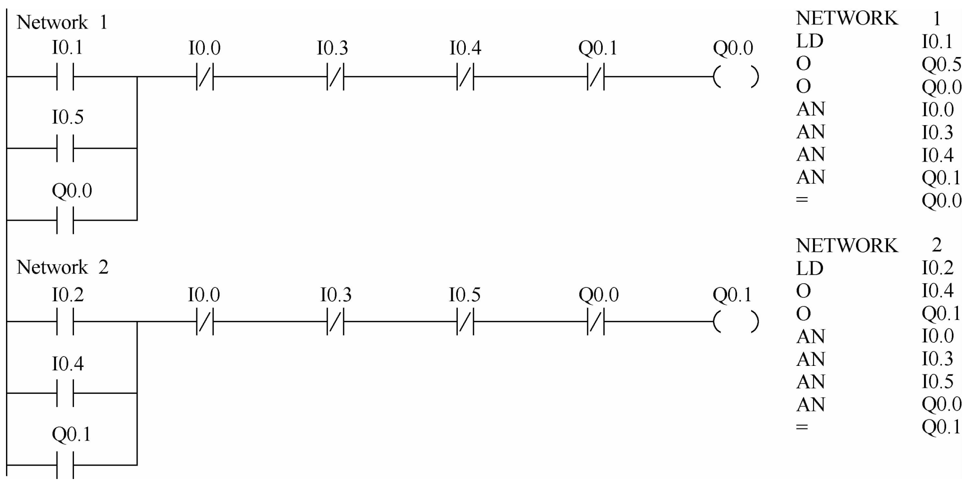


图 7-49　小车自动往返 PLC 控制

5. 实验报告要求

（1）实验目的。

（2）实验设备及接线。

（3）实验内容，写出控制要求。

（4）实验步骤，分配 PLC 的 I/O 端口，画出实际接线图。

（5）实验结论及程序分析，列出梯形图程序、指令字程序和说明。

（6）实验注意事项。

（7）实验小结。

7.3.3　定时器类指令实验

1. 实验目的

1）熟悉和掌握所使用 PLC 以及实验设备的功能、特点及使用方法。

2）熟悉和掌握西门子 S7-200 系列 PLC 的硬、软件功能和性能。

3）掌握定时器指令的使用方法，根据时序要求编写梯形图和语句表程序。

2. 实验设备

1）S7-200 系列 PLC 主机模块。

2）S7-200 系列 PLC 实验设备的相关模板。

3） 电源模板。

4） 带有 STEP 7-Micro/WIN32 编程软件的计算机。

3. 实验内容

1） 设计通电延时控制电路。

2） 设计断电延时控制电路。

3） 设计通电/断电延时控制电路。

4） 设计闪光报警控制电路。

4. 实验步骤

（1）I/O 分配表

①输入信号：I0. 0—起动/停止开关。

②输出信号：Q0. 0—控制信号灯或蜂鸣器。

（2） 设计通电延时控制电路

1） 控制要求：开关闭合延时 2s 后，信号灯亮；开关断开，信号灯立即熄灭。其时序图如图 7-50 所示。

2） 参考程序如图 7-51 所示。

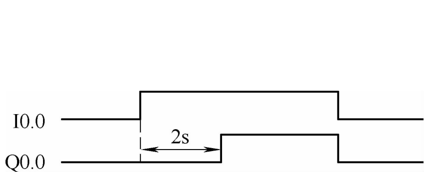


图 7-50 通电延时控制时序图

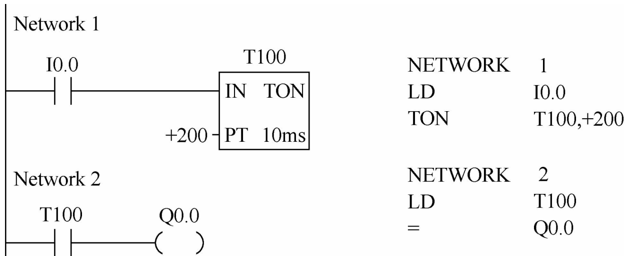


图 7-51 通电延时控制参考程序

（3） 设计断电延时控制电路

1） 控制要求：开关闭合信号灯立即被点亮；开关断开，延时 2s 信号灯熄灭。其时序图如图 7-52 所示。

2） 参考程序：如图 7-53 所示。

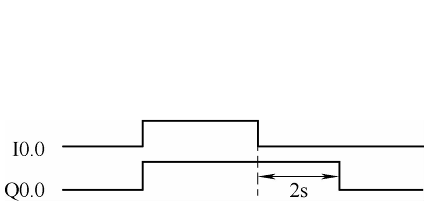


图 7-52 断电延时控制时序图

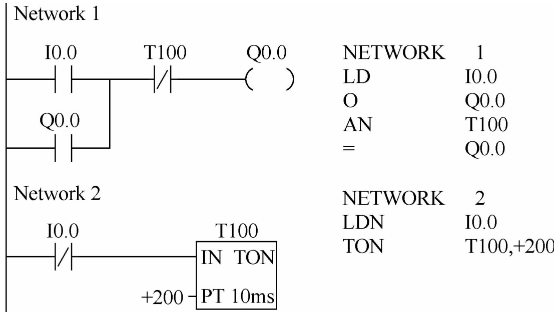


图 7-53 断电延时控制参考程序

（4）设计通电/断电延时控制电路

1）控制要求：开关闭合延时 2s 后，信号灯亮；开关断开，延时 2s 信号灯熄灭。其时序图如图 7-54 所示。

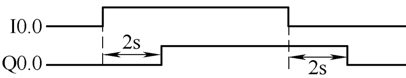


图 7-54　通电/断电延时控制时序图

2）参考程序：如图 7-55 所示。

（5）闪光报警控制电路

1）控制要求：开关闭合后，信号灯按 2s 的周期连续闪烁。开关断开，信号灯熄灭。其时序图如图 7-56 所示。

2）参考程序：如图 7-57 所示。

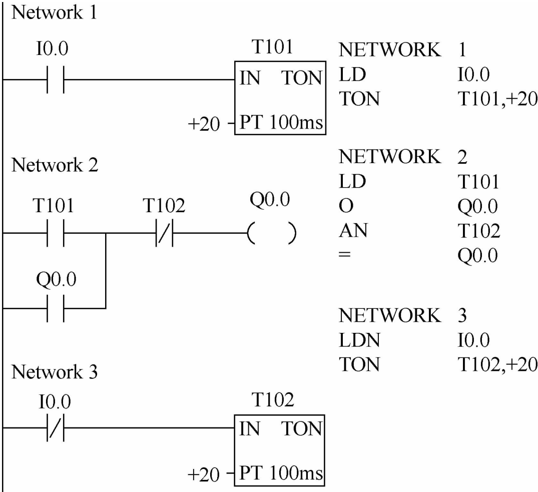


图 7-55　通电/断电延时控制参考程序

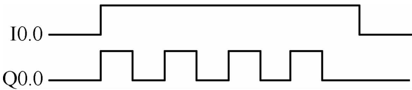


图 7-56　闪光报警控制时序图

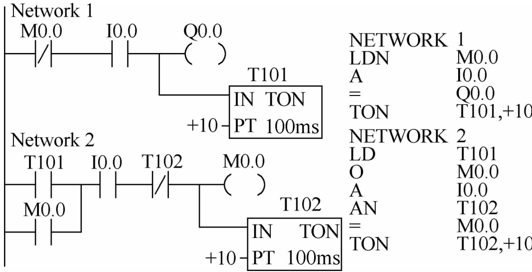


图 7-57　闪光报警控制参考程序

5. 实验报告

（1）实验目的。

（2）实验设备及接线。

（3）实验内容，写出控制要求。

（4）实验步骤，分配 PLC 的 I/O 端口，画出实际接线图。

（5）实验结论及程序分析，列出梯形图程序、指令字程序和说明。

（6）实验注意事项。

（7）实验小结。

7.3.4　计数器指令实验

1. 实验目的

1）熟悉和掌握所使用 PLC 以及实验设备的功能、特点及使用方法。

2）熟悉和掌握西门子 S7-200 系列 PLC 的硬、软件功能和性能。

3）掌握计数器指令的使用方法，根据时序要求编辑控制程序。

2. 实验设备

1）S7-200 系列 PLC 主机模块。

2）S7-200 系列 PLC 实验设备的旋转控制模板（如图 7-58 所示）。

3） 电源模板。

4） 带有 STEP 7-Micro/WIN32 编程软件的计算机。

3. 实验内容

1） 根据按钮动作次数控制信号灯。

2） 圆盘计数、定时旋转控制电路。

3）PLC 扫描周期测量电路。

4. 实验步骤

（1） 根据按钮动作次数控制信号灯

1） I/O 分配表：

①输入信号：I0.0—控制按钮。

②输出信号：Q0.0—控制信号灯。

③计数器：C0，C1—记录按钮动作次数。

2） 控制要求：按钮按下 3 次，信号灯亮；再按两次，灯灭，循环运行。其时序图如图 7-59 所示。

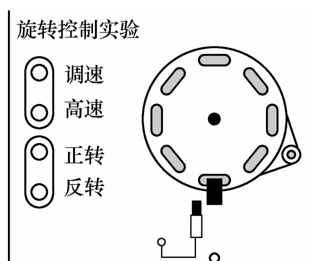


图 7-58　圆盘旋转控制模板

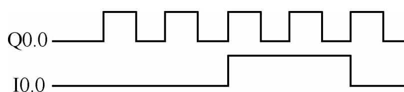


图 7-59　由按钮次数控制信号灯时序图

3） 根据按钮动作次数控制信号灯参考程序：如图 7-60 所示。

（2） 圆盘计数、定时旋转控制电路

1） I/O 分配表：

①输入信号：I0.0—起动按钮；I0.1—停止按钮；I0.2—光电开关脉冲信号。

②输出信号：Q0.0—控制信号灯。

③计数器：C0—光电脉冲计数。

④定时器：T100—延时 1s 定时器。

2） 控制功能：圆盘起动后，旋转一周（对应光电开关产生 8 个计数脉冲）停止；延时 1s 后，继续旋转一周；以此规律重复运行，直到按下停止按钮时为止。

3） 参考程序：如图 7-61 所示。

（3）PLC 扫描周期测量电路

1）I/O 分配表；

①输入信号：I0.0—测量按钮；SM0.6—PLC 扫描周期信号。

②计数器：C0—保存每秒扫描个数；定时器：T100—延时 2s 计时器。

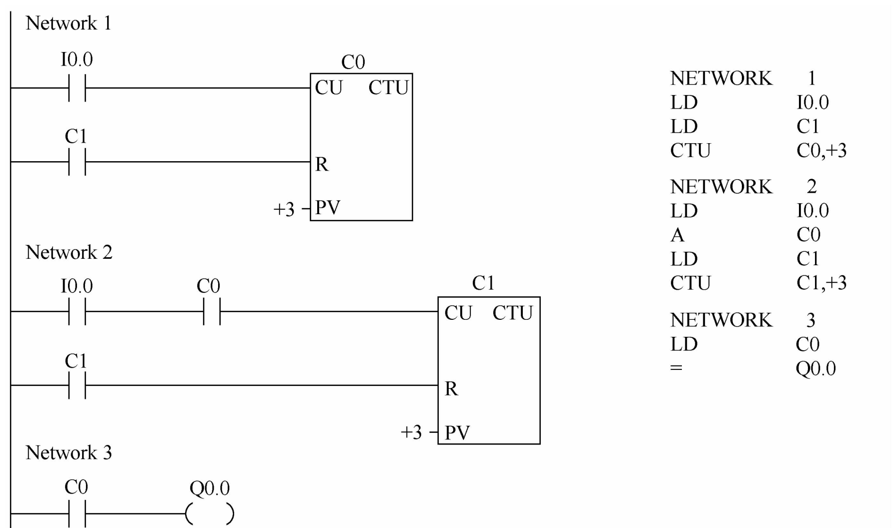


图 7-60　根据按钮动作次数控制信号灯参考程序

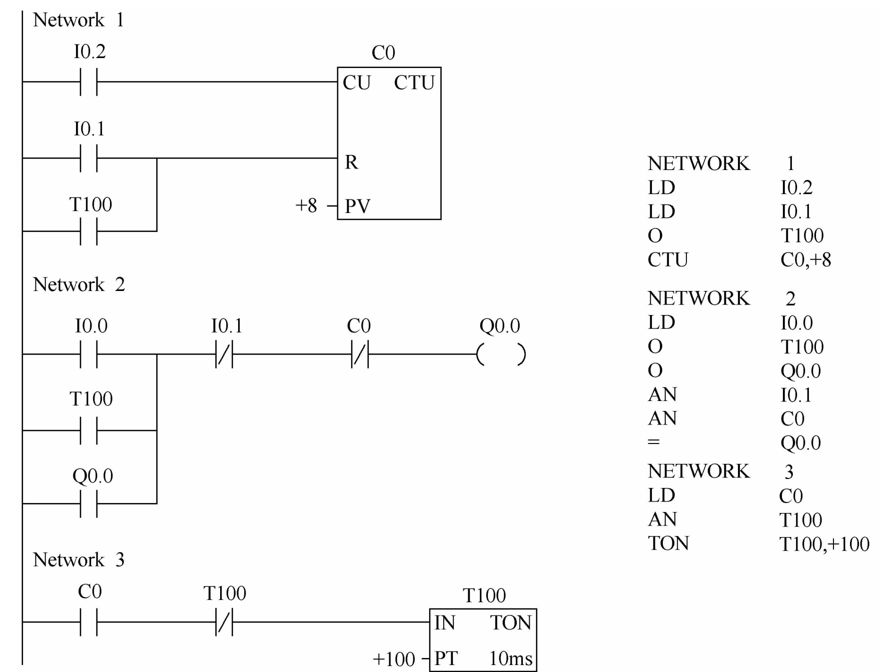


图 7-61　圆盘计数、定时旋转控制参考程序

2）工作原理：S7-200 的特殊位存储器 SM0.6 为扫描周期时钟信号，本次扫描若为 1，下次扫描就为 0。使用计数器进行计数统计，就可以求出 PLC 实际运行的扫描周期。由于加法计数器仅能捕捉 SM0.6 的上升沿，所以定时器选择 2s。按下测量按钮，计数器和计时器均被复位；松开测量按钮后，它的下降沿起动测量程序，延时 2s，C0 的数值即为每秒 PLC 扫描次数，由此可以计算出 PLC 的扫描周期。

参考程序如图 7-62 所示。

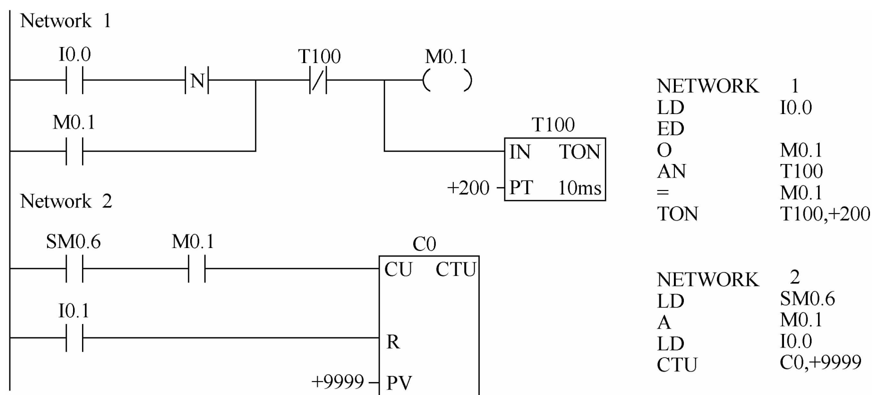


图 7-62　PLC 扫描周期测量参考程序

5. 实验报告

（1）实验目的。

（2）实验设备及接线。

（3）实验内容，写出控制要求。

（4）实验步骤，分配 PLC 的 I/O 端口，画出实际接线图。

（5）实验结论及程序分析，列出梯形图程序、指令字程序和说明。

（6）实验注意事项。

（7）实验小结。

7.3.5　微分指令、锁存器指令实验

1. 实验目的

1）熟悉了解和掌握所使用 PLC 以及实验设备的功能、特点及使用方法。

2）熟悉西门子 S7-200 系列 PLC 的硬、软件功能和性能。

3）掌握微分指令、锁存器指令的使用方法，根据控制要求编辑控制程序。

2. 实验设备

1）S7-200 系列 PLC 主机模块。

2）S7-200 系列 PLC 实验设备的相关模板。

3）电源模板。

4）带有 STEP 7-Micro/WIN32 编程软件的计算机。

3. 实验内容

1）正微分指令控制电路。

2）正微分/负微分指令控制电路。

3）单输入按钮/单输出信号灯控制电路。

4）单输入按钮/双输出信号灯控制电路 1。

5）单输入按钮/双输出信号灯控制电路 2。

4. 实验步骤

（1）I/O 分配表

1）输入信号：I0.0—起动/停止按钮。

2）输出信号：Q0.0—控制信号灯或蜂鸣器。

（2）正微分指令控制电路

1）控制要求：按钮闭合的时间无论长短，蜂鸣器均发出 1s 声响

2）参考程序：如图 7-63 所示。

（3）正微分/负微分指令控制电路

1）控制要求：按钮闭合或断开时，蜂鸣器均发出 1s 声响。

2）参考程序：如图 7-64 所示。

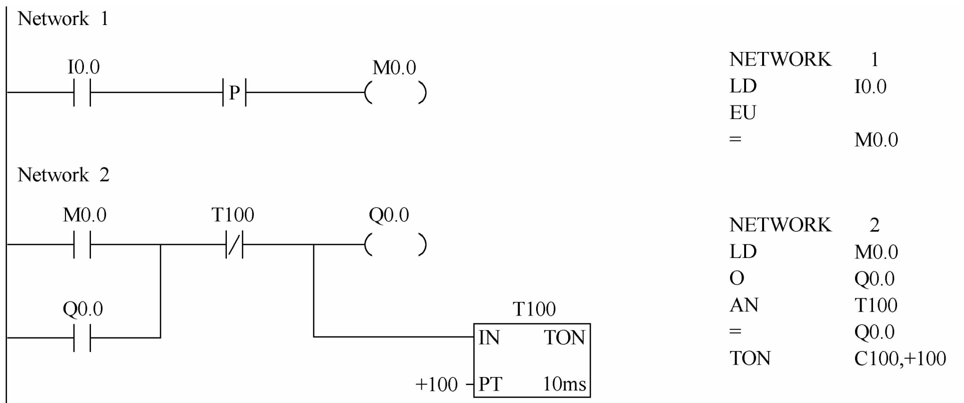


图 7-63　正微分指令控制参考程序

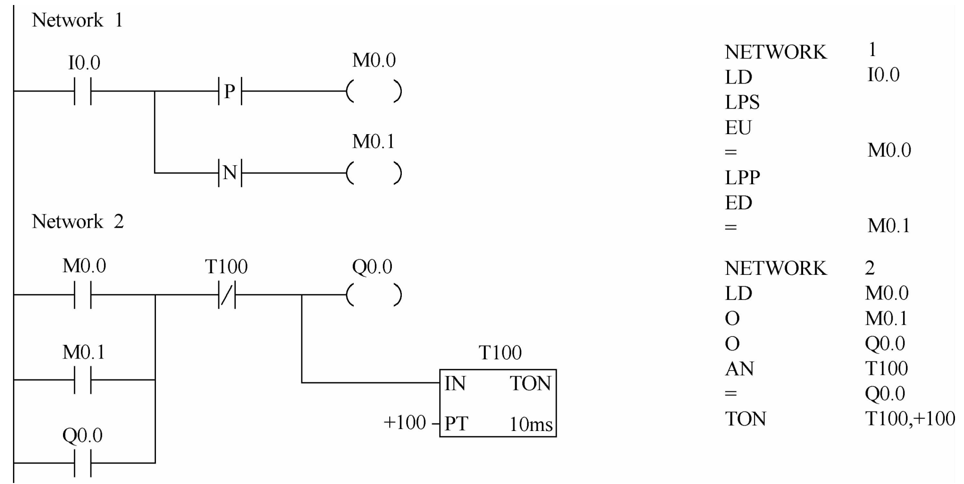


图 7-64　正/负微分指令控制参考程序

（4）单输入按钮/单输出信号灯控制电路

1）控制要求：用一只按钮控制一盏灯，第一次按下时灯亮；第二次按下时灯灭；即按下奇数次时灯点亮，按下偶数次时灯熄灭。

2）参考程序：如图 7-65 所示。

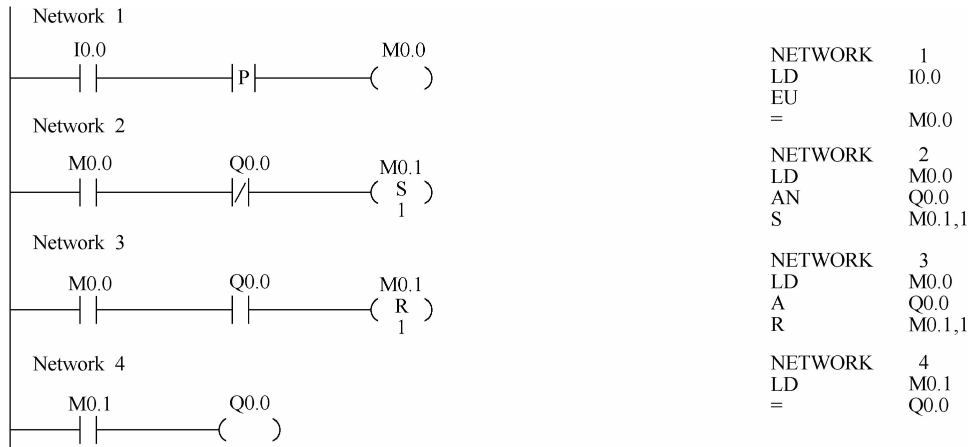


图 7-65　单入/单出控制参考程序

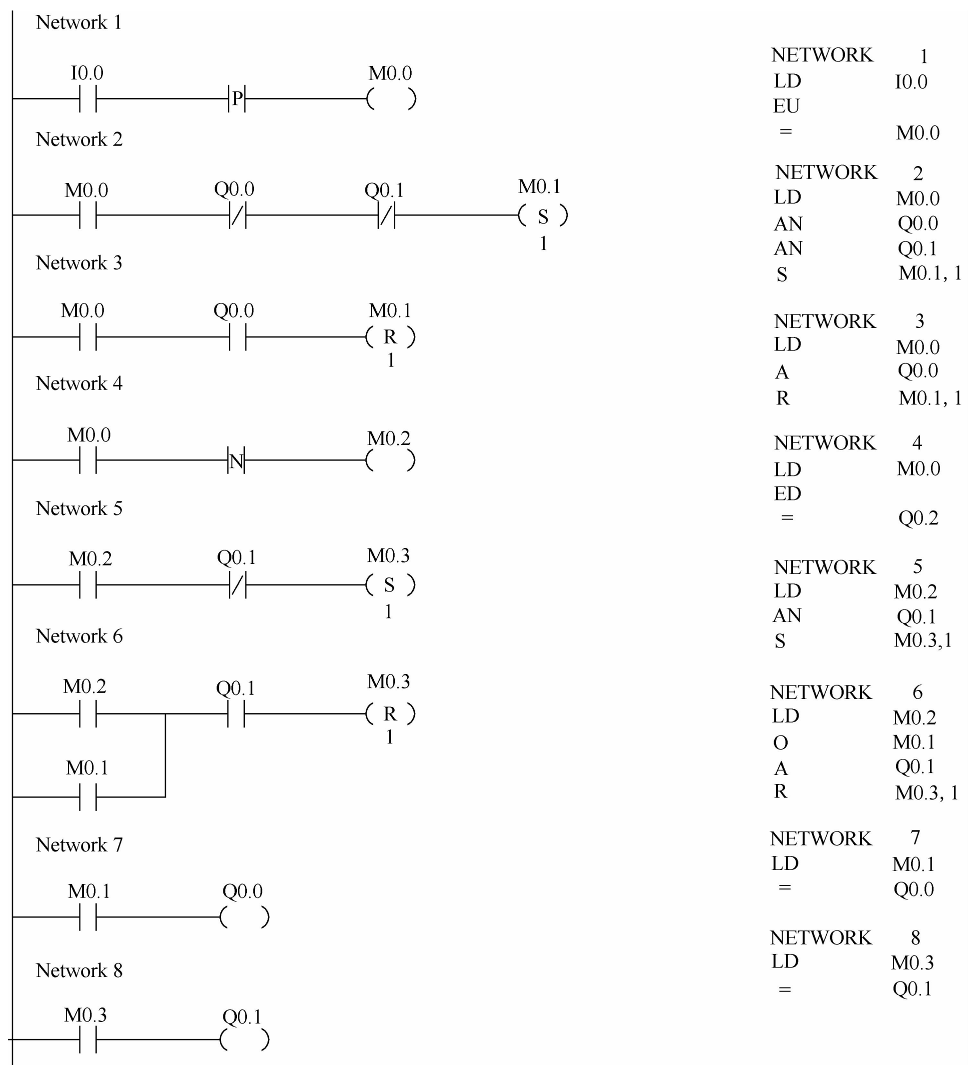


图 7-66　单入/双出控制参考程序 1

（5）单输入按钮/双输出信号灯控制电路 1

1）控制要求：用 1 只按钮控制两盏灯，第 1 次按下时第 1 盏灯亮；第 2 次按下时第 1 盏灯灭，同时第 2 盏灯亮；第 3 次按下时两盏灯灭；按此规律循环执行。

2）参考程序：如图 7-66 所示。

（6）单输入按钮/双输出信号灯控制电路 2

1）控制要求：用 1 只按钮控制两盏灯，第 1 次按下时第 1 盏灯亮；第 2 次按下时第 1 盏灯灭，同时第 2 盏灯亮；第 3 次按下时两盏灯同时亮；第四次按下时两盏灯同时灭。按此规律循环执行。

2）参考程序：如图 7-67 所示。

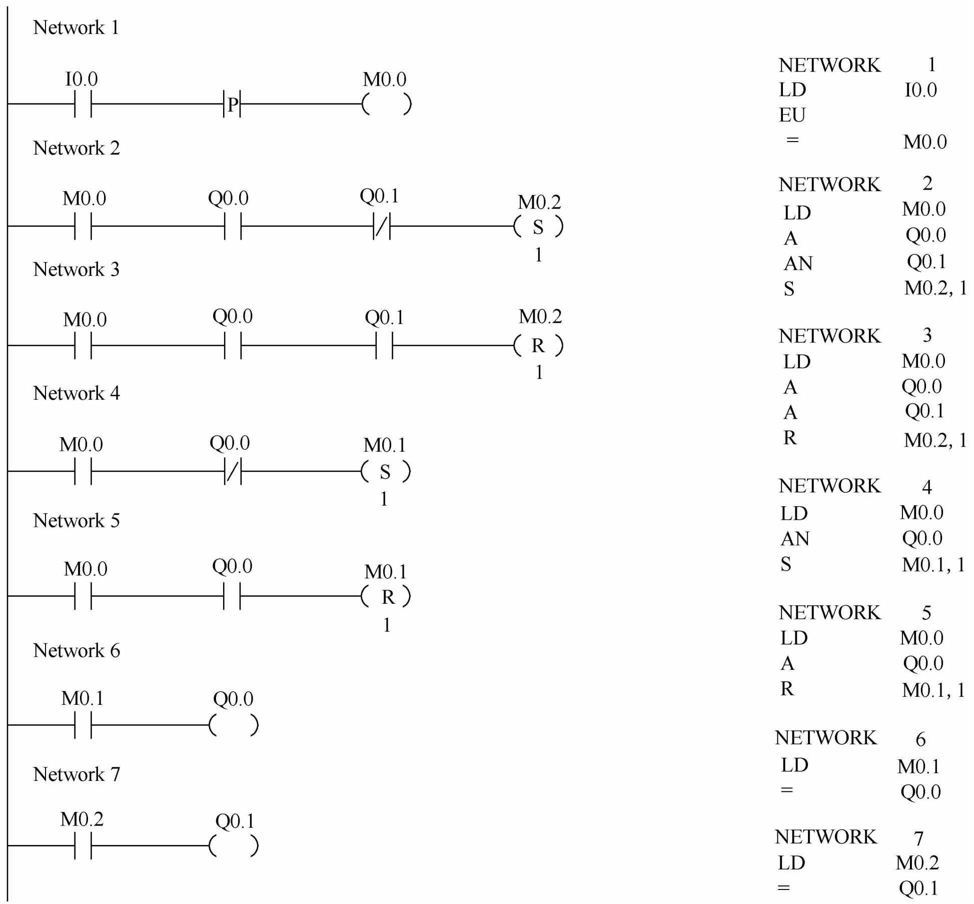


图 7-67　单入/双出控制参考程序 2

5. 实验报告

（1）实验目的。

（2）实验设备及接线。

（3）实验内容，写出控制要求。

（4）实验步骤，分配 PLC 的 I/O 端口，画出实际接线图。

（5）实验结论及程序分析，列出梯形图程序、指令字程序和说明。

（6） 实验注意事项。

（7） 实验小结。

7.3.6 移位指令实验

1. 实验目的

1） 熟悉了解和掌握所使用 PLC 以及实验设备的功能、特点及使用方法。

2） 熟悉西门子 S7-200 系列 PLC 的硬、软件功能和性能。

3） 掌握移位指令的编程方法，根据控制要求编辑控制程序。

2. 实验设备

1）S7-200 系列 PLC 主机模块。

2）S7-200 系列 PLC 实验设备的相关模板。

3） 电源模板。

4）带有 STEP 7-Micro/WIN32 编程软件的计算机。

3. 实验内容

1） 信号灯单方向顺序通断控制。

2） 信号灯单方向顺序单通控制。

3） 信号灯正序导通、反序关断控制。

4. 实验步骤

（1） 信号灯单方向顺序通断控制

1）I/O 分配表：

①输入信号：I0. 0—运行开关；I0. 1—停止开关。

②输出信号：Q0. 0 ~ Q0. 7 8 个信号灯控制开关。

③定时器：T100—控制信号灯依次通断的延时时间。

2） 控制要求：8 个信号灯用两个按钮控制，1 个作为移位按钮，1 个作为停机复位按钮。当移位按钮按下时，信号灯依次从第 1 个灯开始向后逐个被点亮；按钮松开时，信号灯依次从第 1 个开始向后逐个熄灭。位移间隔时间为 0. 5s，当停机按钮按下时，灯全部熄灭。

3） 参考程序：如图 7-68 所示。

（2） 信号灯单方向顺序单通控制

1）I/O 分配表：

①输入信号：I0. 0—点动按钮；I0. 1—连续运行按钮。

②输出信号：Q0. 0 ~ Q0. 7—8 个信号灯控制开关。

2） 控制要求：8 个信号灯用 3 个按钮控制，实现单方向逐个按顺序亮，每次只有 1 个灯亮，所以称为单方向顺序单通控制。亮灯的移位方式有两种，1 种为点动移位，用点动按钮实现，按钮每按下 1 次，亮灯向后移动 1 位；另 1 种为连续移位方式，按钮按下即可使亮灯连续向右位移，移位的间隔时间 1s（用内部特殊存储位 SM0. 5 控制），亮灯位移可以重复循环。按下停机按钮，信号灯全部熄灭。

参考程序：如图 7-69 所示。

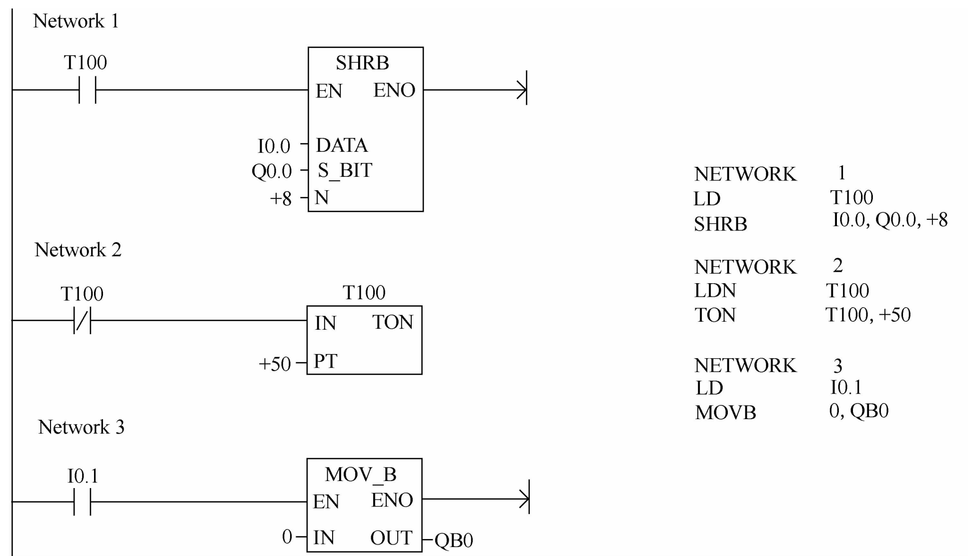


图7-68　信号灯单方向顺序通断控制参考程序

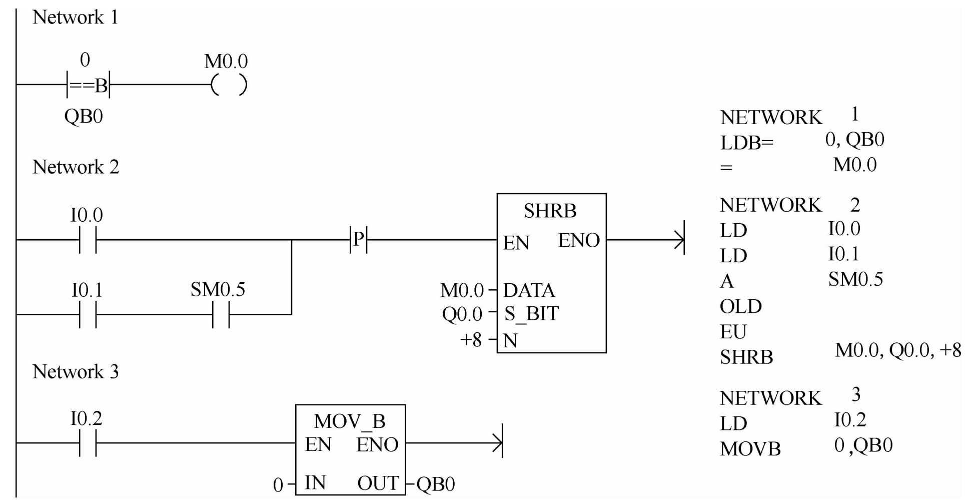


图7-69　信号灯单方向顺序单通控制参考程序

（3）信号灯正序导通、反序关断控制

1）I/O分配表；

①输入信号：I0.0—起动按钮；I0.1—停止按钮。

②输出信号：Q0.0～Q0.5 6个信号灯控制开关。

2）控制要求：6个信号灯用两个按钮控制，1个为起动按钮，1个为停止按钮。按下起动按钮时，6个信号灯按正方向顺序逐个被点亮；按下停止按钮时，6个信号灯按反方向顺序逐个熄灭。灯亮或灯灭移位间隔1s（用内部特殊存储位SM0.5控制）。

参考程序：如图7-70所示。

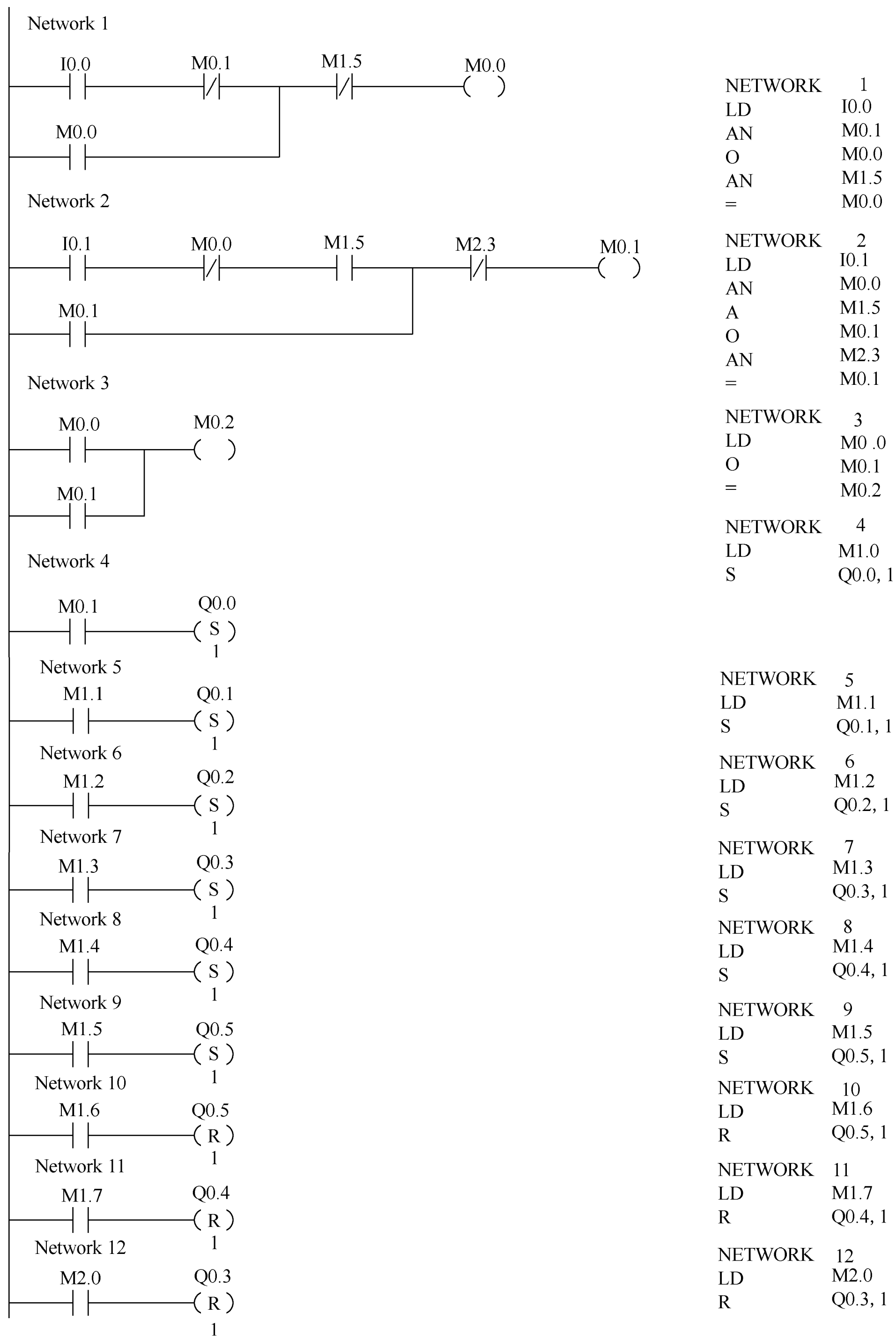


图 7-70 信号灯正序导通、反序关断控制参考程序

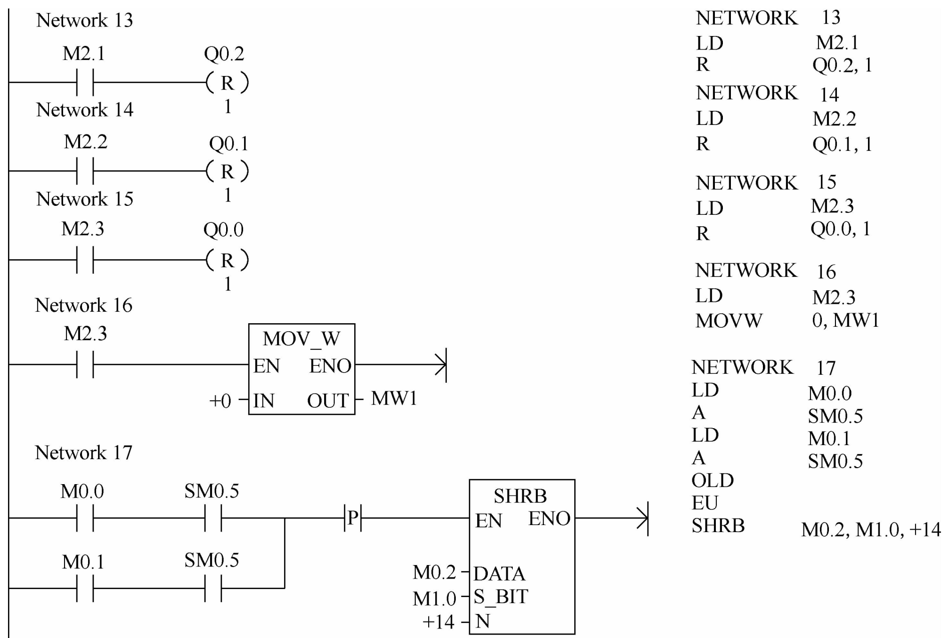


图 7-70　信号灯正序导通、反序关断控制参考程序（续）

5. 实验报告（略）

7.3.7　交通灯控制电路实验

1. 实验目的

1）熟悉和掌握所使用 PLC 以及实验设备的功能、特点及使用方法。

2）熟悉和掌握西门子 S7-200 系列 PLC 的硬、软件功能和性能。

3）掌握 PLC 计数器的编程方法，使用计数器完成时序控制功能，编写所需控制程序。

2. 实验设备

1）S7-200 系列 PLC 主机模块。

2）S7-200 系列 PLC 实验设备的交通灯控制模板（如图 7-71 所示）。

3）电源模板。

4）带有 STEP 7-Micro/WIN32 编程软件的计算机。

3. 实验内容

1）设计灯光闪烁控制电路。

2）用 PLC 实现路口交通灯的自动控制。

4. 实验步骤

（1）灯光闪烁控制电路

1）I/O 分配表：

①输入信号：I0. 0—运行按钮；I0. 1—停止按钮。

②输出信号：Q0. 0—信号灯。

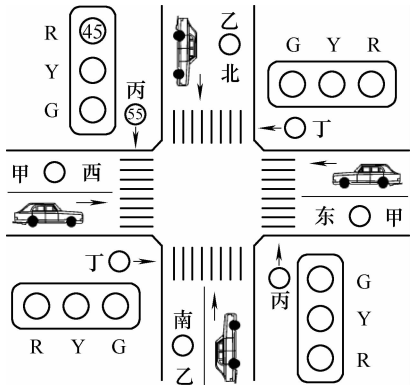


图 7-71　交通灯控制模板

③计数器：C0—控制信号灯亮的计数器；C1—控制信号灯灭的计数器。

④SM0. 5 为系统状态位，该位提供了一个周期为 1s、占空比为 0. 5 的时钟。

在 PLC 实验装置上选择按钮和发光管，运行后观察发光管的显示状态。正常运行后，再调整时间常数，改变闪烁周期和发光管亮、灭的占空比。

2）控制要求：设计一个信号灯闪烁电路，亮 5s 灭 5s，循环运行。

3）参考程序：如图 7-72 所示。

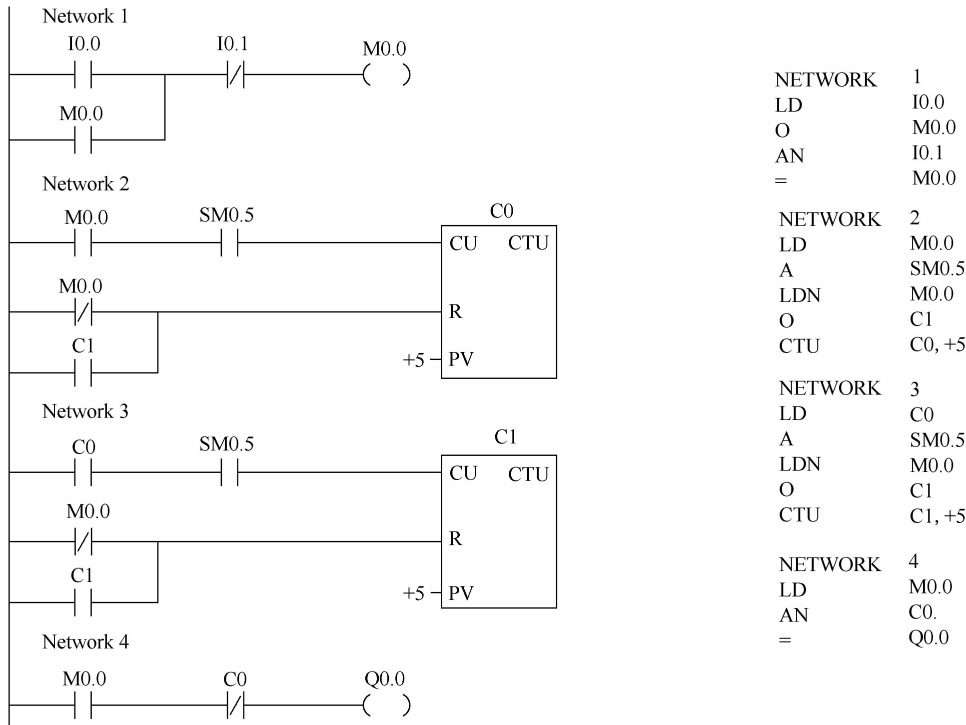


图 7-72　灯光闪烁控制参考程序

（2）交通路口信号灯的控制电路

1）I/O 分配表：

①输入信号：I0. 0—运行按钮；I0. 1—停止按钮。

②输出信号：Q0. 0—南北路口红色信号灯；Q0. 1—南北路口黄色信号灯；Q0. 2—南北路口绿色信号灯；Q0. 3—东西路口红色信号灯；Q0. 4—东西路口黄色信号灯；Q0. 5—东西路口绿色信号灯。

③定数器：C0—绿色信号灯运行时间设定值（7s）；C1—绿色信号灯闪烁时间设定值（闪 3 次）；C2—黄色信号灯运行时间设定值（3s）。

2）控制要求：图 7-73 是一个十字路口交通指挥灯的示意图，采用 PLC 实现灯光控制。要求如下：

①当起动开关接通时，系统开始工作，首先是东西通行，即东西绿灯亮，南北红灯亮。

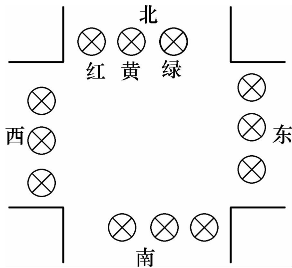


图 7-73　路口交通指挥灯的示意图

②东西绿灯工作到 7s 时，开始 5s 钟的闪烁，然后变为黄灯，黄灯工作 3s 后，东西路口的红灯亮，与此同时南北红灯熄灭，南北绿灯亮。

③南北绿灯工作到 7s 时，开始 5s 钟的闪烁，然后变为黄灯，黄灯工作 3s 后，南北路口的红灯亮，与此同时东西红灯熄灭，绿灯亮。

④按上述方式重复运行，按动停止按钮时，工作结束，所有信号灯都熄灭。

对于一个仅有红、黄、绿三种信号的十字路口，其南北方向或东西方向信号灯的动作是一致的，所以 PLC 实验装置使用 6 个端子演示交通灯的运行状态。

可以看出这是一个时序控制系统，信号灯的时序图如图 7-74 所示。

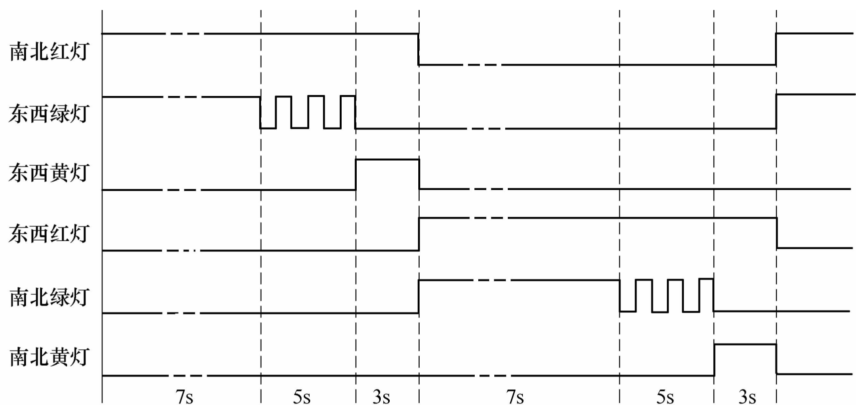


图 7-74　信号灯的时序图

3）参考程序：如图 7-75 所示。

5. 实验报告（略）

7.3.8　运料车控制电路实验

1. 实验目的

1）熟悉和掌握所使用 PLC 以及实验设备的功能、特点及使用方法。

2）熟悉和掌握西门子 S7-200 系列 PLC 的硬、软件功能和性能。

3）掌握 PLC 计数器的编程方法，使用计数器完成时序控制功能，编写所需控制程序。

2. 实验设备

1）S7-200 系列 PLC 主机模块。

2）S7-200 系列 PLC 实验设备的直线控制模板（见图 7-76）。

3）电源模板。

4）带有 STEP 7-Micro/WIN32 编程软件的计算机。

3. 实验内容

1）运料车的顺序控制。

2）加工工序的步进控制。

3）运料车自动往返控制。

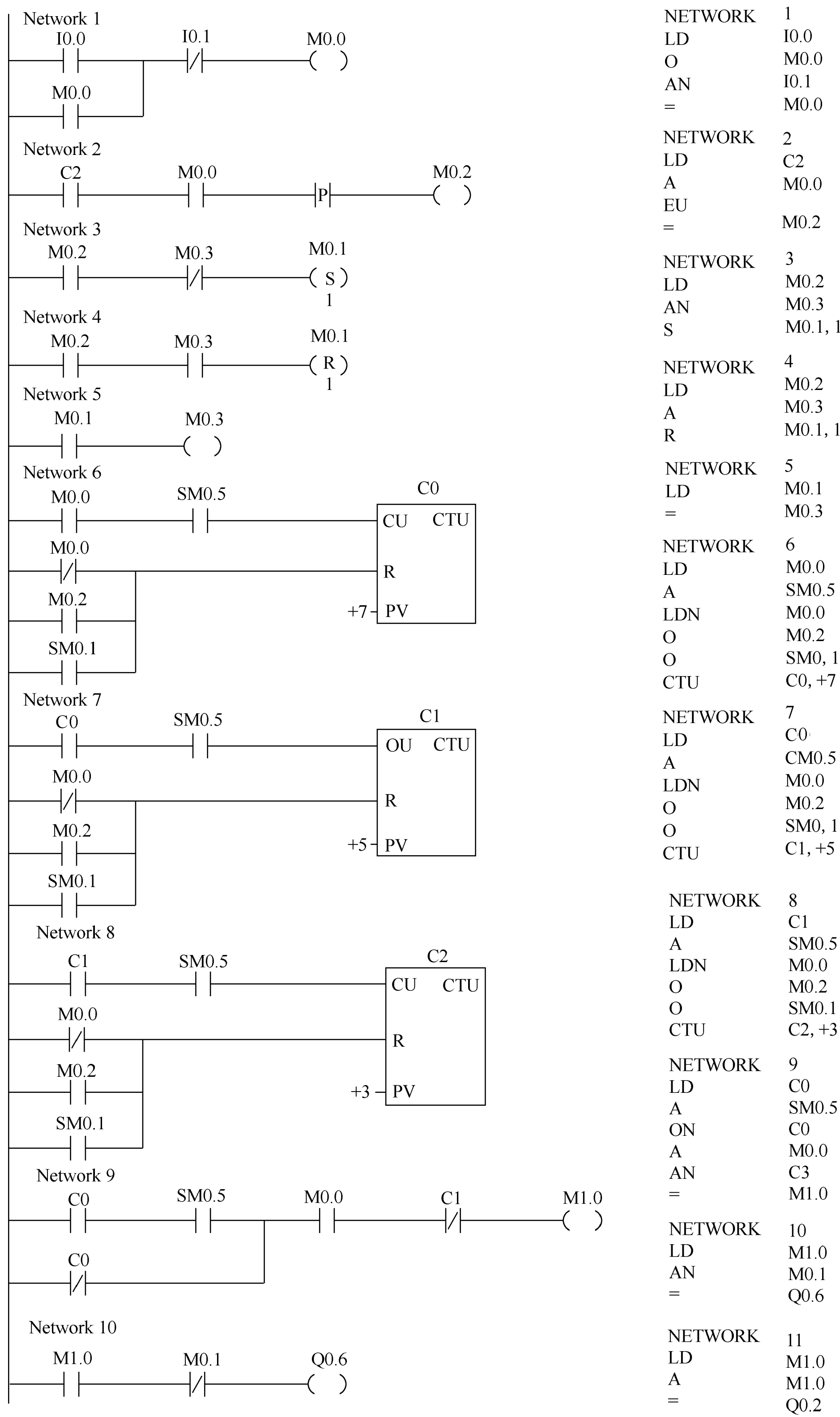


图 7-75　十字路口交通指挥灯控制参考程序

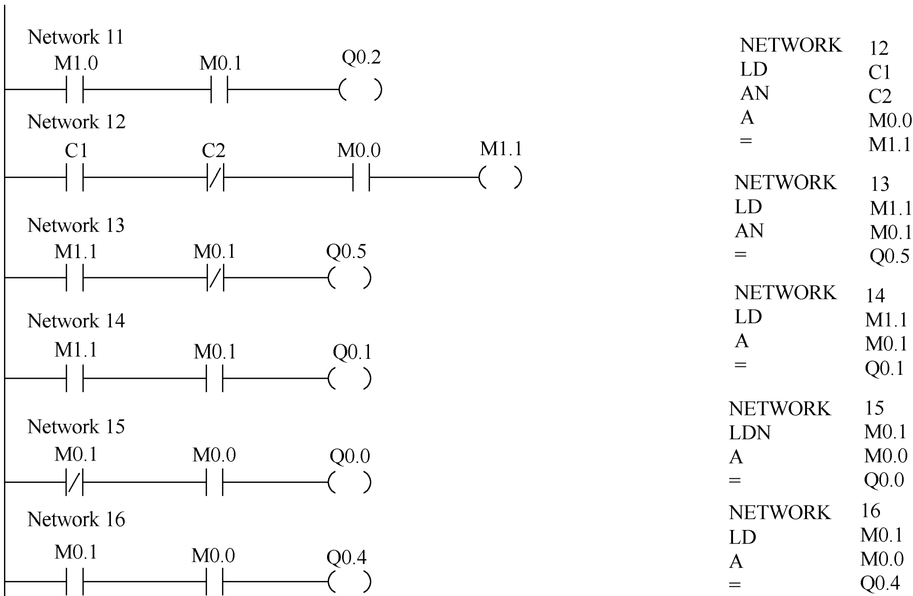


图 7-75　十字路口交通指挥灯控制参考程序（续）

4. 实验步骤

（1）运料车的顺序控制电路

1）I/O 分配表：

①输入信号：I0. 0—运行按钮；I0. 1—停止按钮；I0. 2—1 号行程开关；I0. 3—2 号行程开关；I0. 4—3 号行程开关。

②输出信号：Q0. 0—小车正向运行；Q0. 1—小车反向运行；Q0. 2—1 号行程开关到位指示灯；Q0. 3—2 号行程开关到位指示灯；Q0. 4—3 号行程开关到位指示灯。

③计数器：C1—起动次数计数器。

2）控制功能：在“直线运动实验区”选择 1 号、3 号和 4 号行程开关，如图 7-77 所示。起动后，电动机正转，运料小车从 1 号行程开关开始向右行驶；到达 3 号行程开关位置时电动机反转；小车返回到 1 号行程开关位置停止运行；第 2 次起动，3 号行程开关对小车无影响，只有到达 4 号行程开关时，运料小车才开始返回；到达 1 号行程开关位置后停止运行。

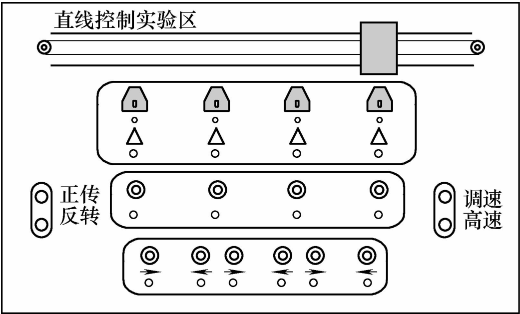


图 7-76　PLC 实验设备的直线控制模板



图 7-77　行程开关位置示意图

3）参考程序：如图 7-78 所示。

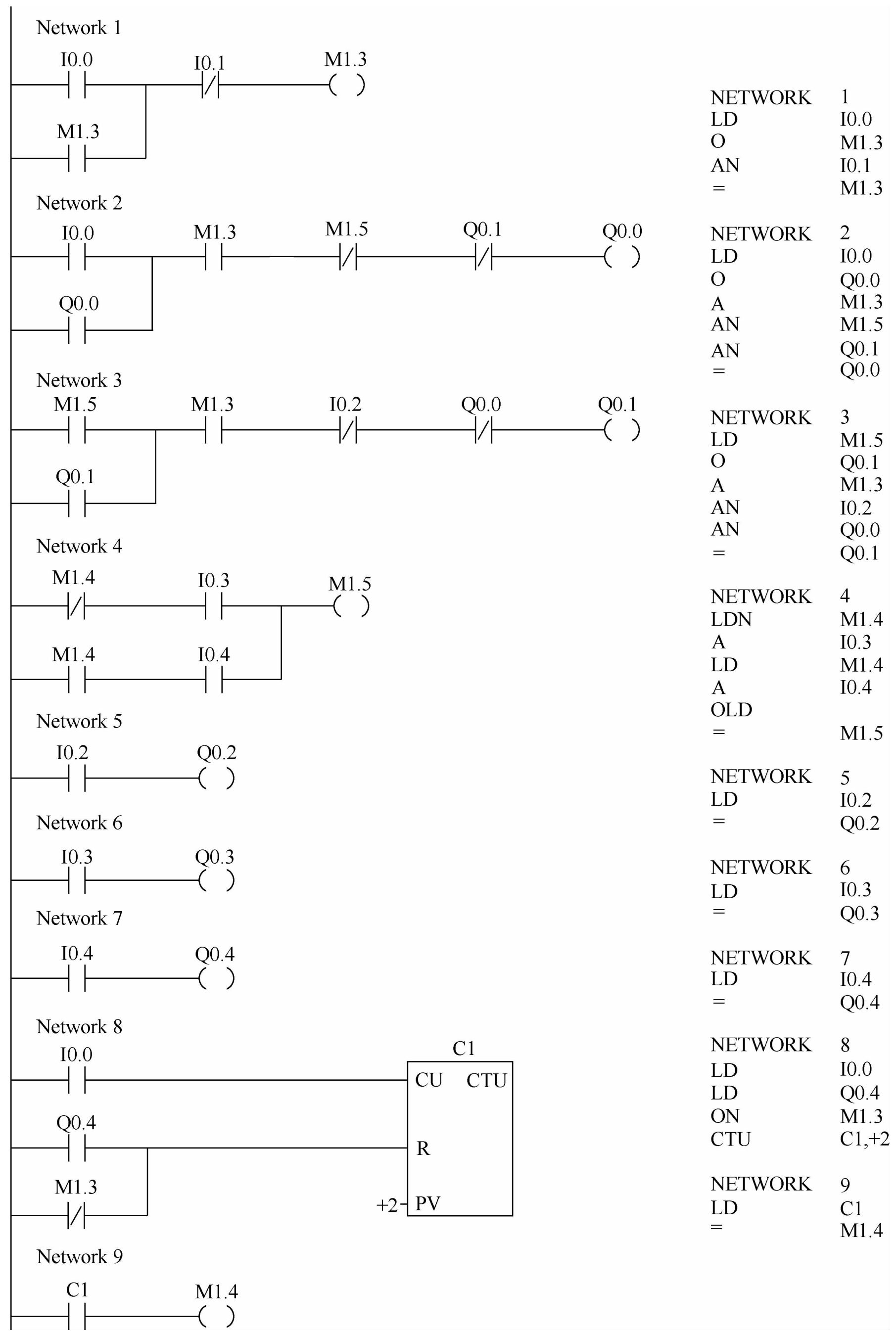


图 7-78 运料车的顺序控制参考程序

（2）加工工序的步进控制

1）I/O 分配表：

①输入信号：I0. 1—运行按钮；I0. 2—停止按钮。

②输出信号：Q0.1 ~ Q0.4—1 号到 4 号工序的输出。

③计数器：C1—起动次数计数器。

2）控制要求：设某机械零件的加工分 4 道工序完成，共需 29s，其时序要求如图 7-79 所示。控制开关闭合时，系统从第 1 道工序开始，按照图 7-79 所示工作；当控制开关断开时，系统停止运行。下次起动时，系统又从第 1 道工序开始工作。这类完全按照时间间隔进行顺序控制的程序，可以全部使用定时器或采用定时器和计数器混合编程。

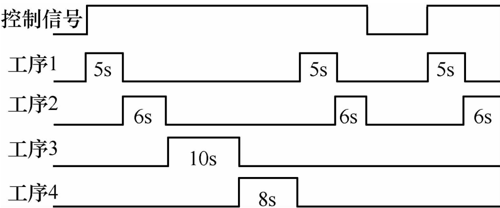


图 7-79　步进控制时序图

3）参考程序：如图 7-80 所示。

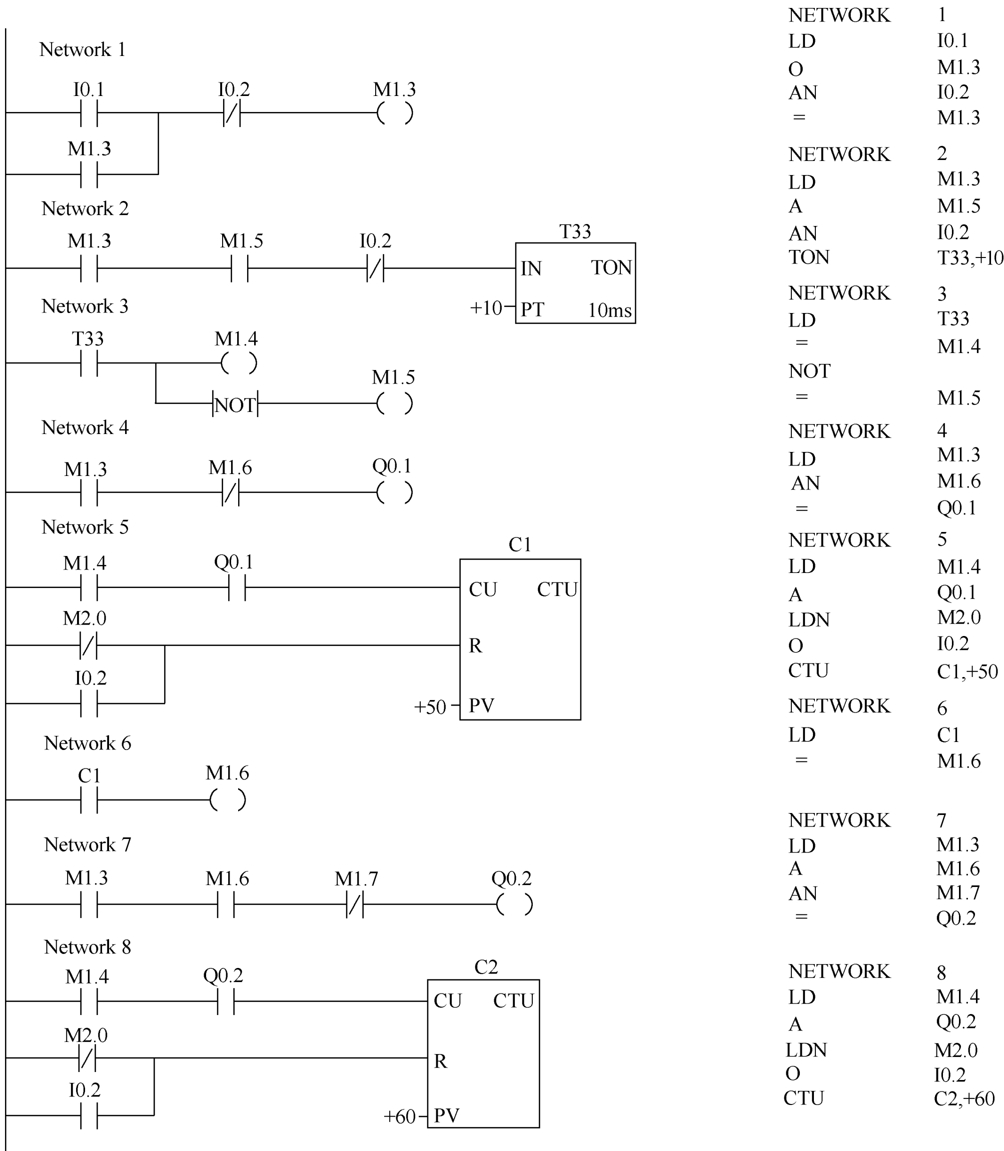


图 7-80　加工工序步进控制参考程序

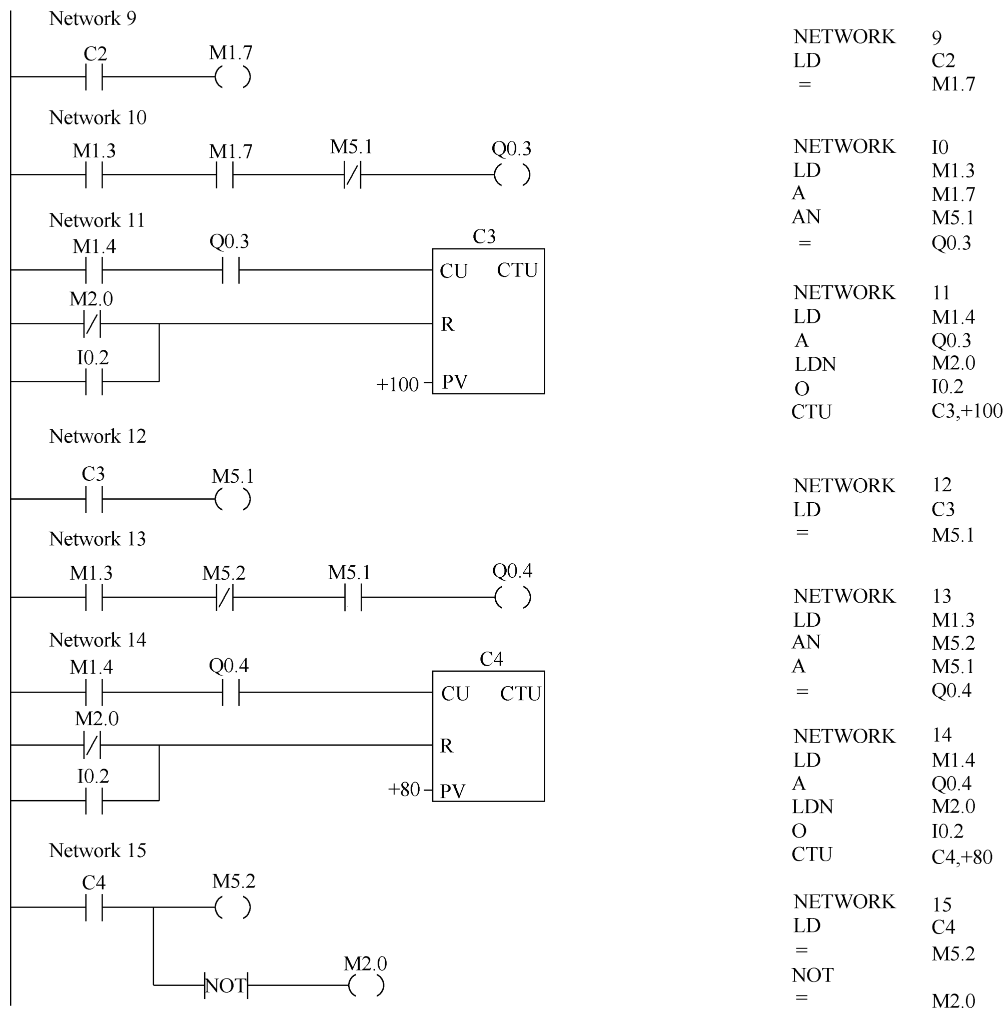


图 7-80　加工工序步进控制参考程序（续）

（3）运料车自动往返控制

1）I/O 分配表：

①输入信号：I0. 0—正向按钮；I0. 1—反向按钮；I0. 2—停止按钮；I0. 3—热继电器；I0. 4—4 号行程开关；I0. 5—1 号行程开关。

②输出信号：Q0. 0—小车正向运行；Q0. 1—小车反向运行。

③定时器：T101—反向起动延时；T102—正向起动延时。

2）控制要求：在“直线运动实验区”选择 1 号和 4 号行程开关。

起动后，电动机正转，运料小车从 1 号行程开关开始向右行驶；到达 4 号行程开关位置，停止运行；延时 5s 后，小车返回到 1 号行程开关位置停止运行；延时 5s，再向右行驶；循环工作。

3）参考程序：如图 7-81 所示。

5. 实验报告（略）

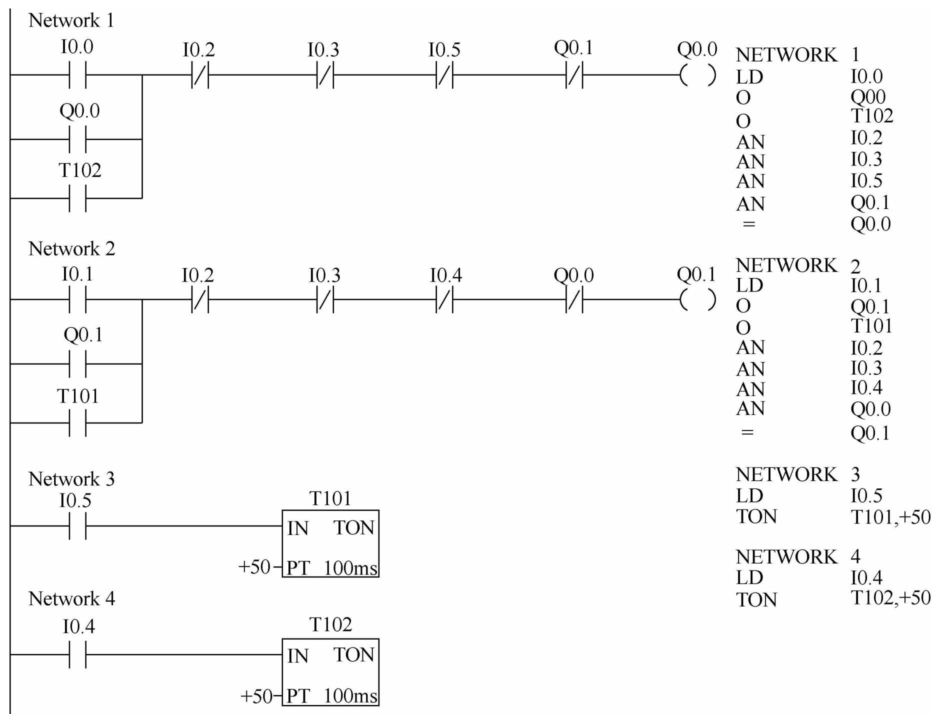


图 7-81　运料车自动往返控制

7.3.9　混料罐控制实验

1. 实验目的

1）熟悉和掌握所使用 PLC 以及实验设备的功能、特点及使用方法。

2）熟悉和掌握西门子 S7-200 系列 PLC 的硬、软件功能和性能。

3）熟悉混料罐的控制要求与程序设计方法，了解正常停机与紧急停机的差异。

2. 实验设备

1）S7-200 系列 PLC 主机模块。

2）S7-200 系列 PLC 实验设备的混料罐控制模板（如图 7-82 所示）。

3）电源模板。

4）带有 STEP 7-Micro/WIN32 编程软件的计算机。

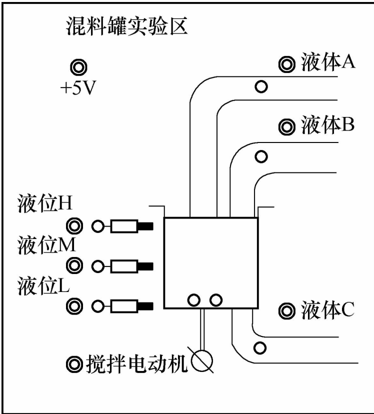


图 7-82　混料罐控制模板

3. 实验内容

编制两种液体定量加入，延时搅拌和卸料的控制程序。

4. 实验步骤

1）I/O 分配表

①输入信号：I0. 1—运行按钮；I0. 2—停止按钮；I0. 3—高液位 H 信号；I0. 4—中液位 M 信号；I0. 5—低液位 L 信号；I0. 6—急停按钮。

②输出信号：Q0. 1—加 A 液体电磁阀；Q0. 2—加 B 液体电磁阀；Q0. 3—C 液体卸料电磁阀；Q0. 4—搅拌电动机。

③计时器：T37—搅拌时间延时；T38—卸料时间延时。

2）控制功能：该实验在混料罐实验区内完成。按下起动按钮后，可进行连续混料。首先，液体 A 阀门打开，液体 A 流入罐内；当液位上升到 M 传感器检测位置时，液体 A 阀门关闭；液体 B 阀门打开，液体 B 流入罐内；当液位上升到 H 传感器检测位置时，液体 B 阀门关闭，搅拌电动机开始运行；延时 5s 后，停止搅拌；卸料阀门打开，混合液体 C 流出，液位开始下降；当液位降到 L 传感器检测位置时，延时 2s，卸料阀门关闭。然后进行下一个周期操作，循环运行。

在混料工作运行期间，若按下正常停机按钮，则等到该周期结束后，系统停止工作；若按下急停按钮，则卸料阀门立即打开，当液位降到 L 传感器检测位置时，停止工作。

3）参考程序：如图 7-83 所示。

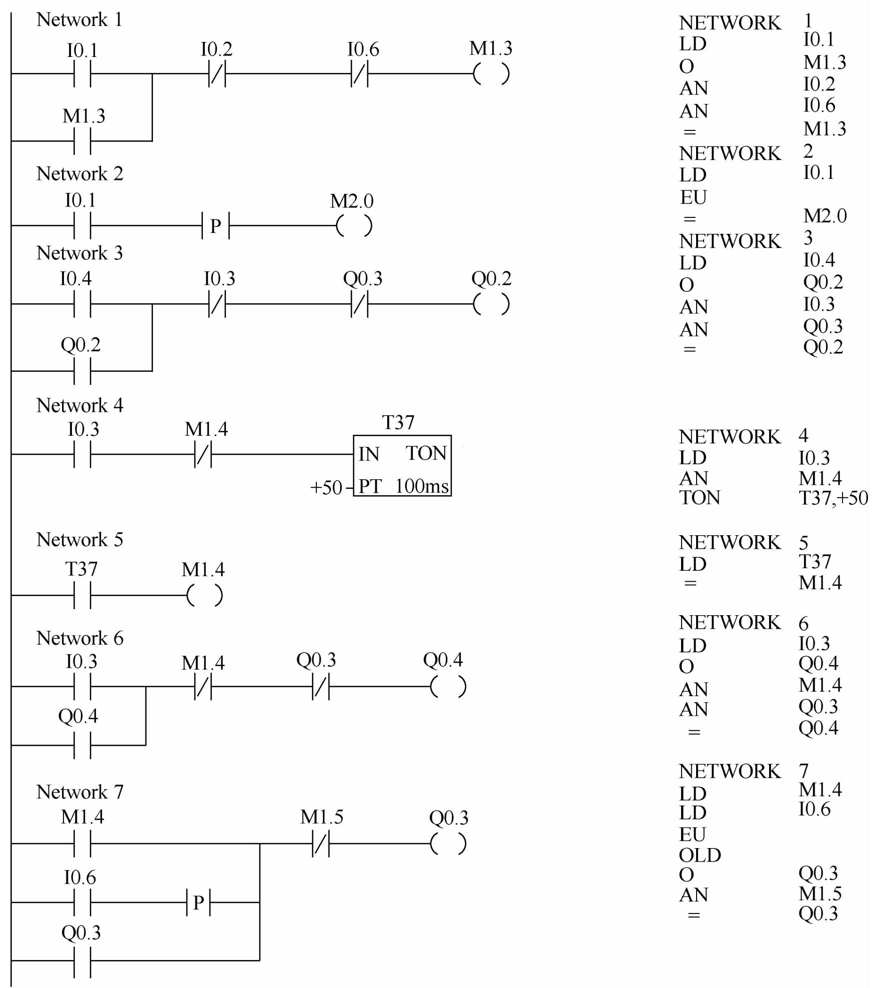


图 7-83　混料罐控制参考程序

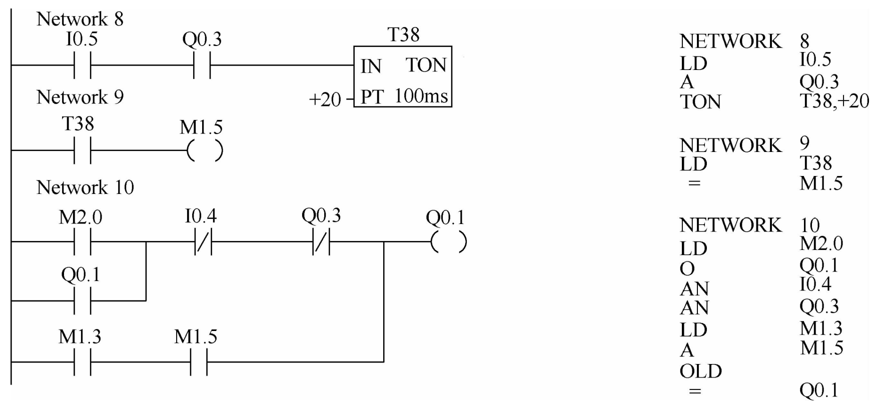


图 7-83　混料罐控制参考程序（续）

5. 实验报告（略）

7.3.10　物流检测控制实验

1. 实验目的

1）熟悉和掌握所使用 PLC 以及实验设备的功能、特点及使用方法。

2）熟悉和掌握西门子 S7-200 系列 PLC 的硬、软件功能和性能。

3）掌握 PLC 移位、置位指令及物流检测控制的设计原理及思路，编写所需控制程序。

2. 实验设备

1）S7-200 系列 PLC 主机模块；

2）S7-200 系列 PLC 实验设备的物流检测控制模板（如图 7-84 所示）；

3）电源模板。

4）带有 STEP 7-Micro/WIN32 编程软件的计算机。

3. 实验内容

物流检测是工业生产中的常见控制，使用范围广，如工业计数检测，零部件或产品合格检测等。图 7-84 是一个物流检测控制模板。图中有 3 个光电传感器 BL1、BL2、BL3。BL1 检测有无次品到来，有次品到则“ON”。BL2 检测凸轮的凸起，凸轮每转一圈则发一个移位脉冲。因物品间隔一定，故每转一圈有一个物品到，所以 BL2 实为检测物品到的传感器。BL3 检测有无次品落下。SB 是手动复位按钮，图中未画出。当次品移至 4 号位时，控制电磁阀 YA 打开，使次品落到次品箱内。若无次品则物品移至传送带右端则自动掉入正品箱内，于是可将次品和正品分开。现要求编制所需控制程序。

4. 实验步骤

（1）I/O 分配

输入端子：I0. 0：BL1　　输出端子：Q0. 0：YA

I0. 1：BL2

I0. 2：BL3

I0. 3：SB

（2）PLC 与现场器件的实际接线图如图 7-85 所示。

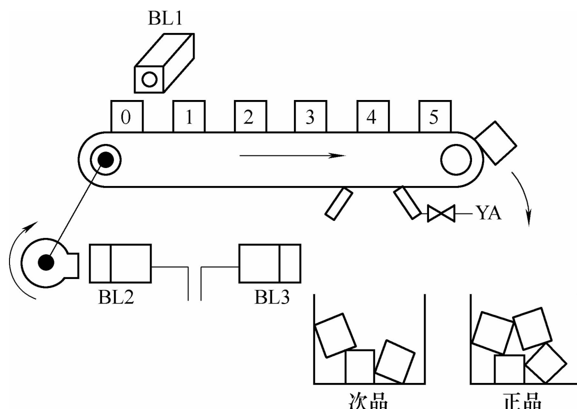


图 7-84　物流检测控制模板

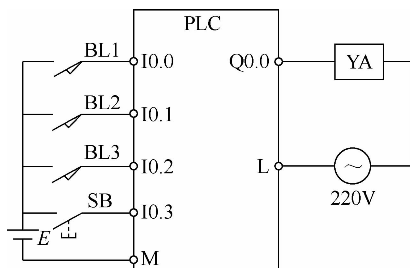


图 7-85　PLC 与现场器件的实际接线图

（3）该物流检测控制的参考梯形图和语句表程序如图 7-86 所示。

（4）实验说明

I0.3 闭合，V100.0 ~ V100.3 复位，当无次品来时，I0.0 总是“OFF”，于是 V100.0 小输入“0”。每来 1 个物品，I0.1 则“ON” 1 次，即发 1 次移位脉冲，V100 中左移 1 位。但因输入全是“0”，故移位后各位上也全是“0”，于是 V100.3 总是“OFF”。V100.0 与 V100.3 的关系图如图 7-87 所示。

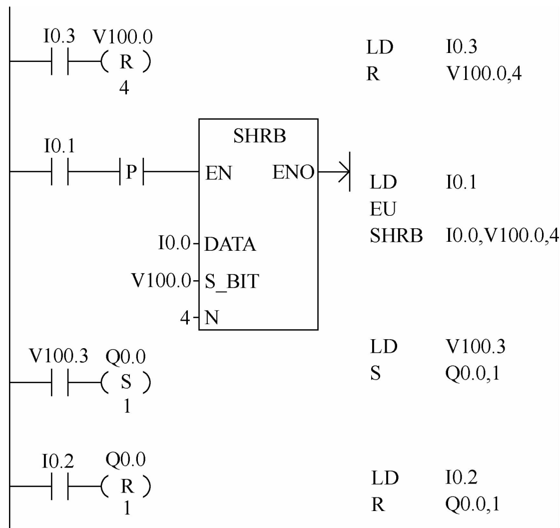


图 7-86　物流检测控制的参考梯形图和语句表程序

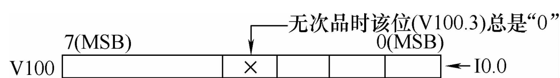


图 7-87　V100.0 与 V100.3 的关系图

V100.3 作为 Q0.0 的置位端，当 V100.3 为“OFF”时，Q0.0 也为“OFF”，电磁阀 YA 不打开，物品全部到正品箱内。而当有次品来时 I0.0“ON”，此时 V100.0 中输入“1”。此后每来 1 个物品则 I0.1“ON” 1 次，发 1 个移位脉冲，使 V100.0 中的“1”左移 1 位。到第 4 个移位脉冲来的恰好这个“1”移至 V100.3 位上，于是 V100.3“ON”，将 Q0.0 接通，电磁阀打开，次品落下（此时次品也恰好移到传送带的 4 号位上）。BL3 检测到次品落下后，I0.2→“ON”，使 Q0.0→“OFF”，电磁阀重新关闭。这就是该检测系统的工作原理。

从该实例说明可以看出，这样的系统若用传统继电器控制实现是很麻烦的，而用 PLC 实现则十分简单。只用移位、置位指令即可编制这样简单的小程序。外围设备也十分简单，由几个输入光电开关、1 个电磁阀即可构成这样的检测系统，简化了外部接线。而且可以随时根据需要更改程序。

5. 实验报告（略）

7.4　电气与 PLC 控制课程设计指导

7.4.1　多台电动机起动停止（顺起逆停）控制系统设计

在实际工作中，经常接触到多台大功率电动机起动/停止控制系统，考虑到起动（停止）时产生很大的起动（停止）电流，一般要求错开时间起动（停止），比如某化工设备需要控制 4 台 1200kW 的电动机，起动/停止控制流程如图 7-88 所示，控制程序软元件分配表如表 7-3 所示，实现的程序如图 7-89 步进阶梯指令或图 7-90 ~ 图 7-98 结构化程序所示，表 7-4 是结构化程序的程序符号表。

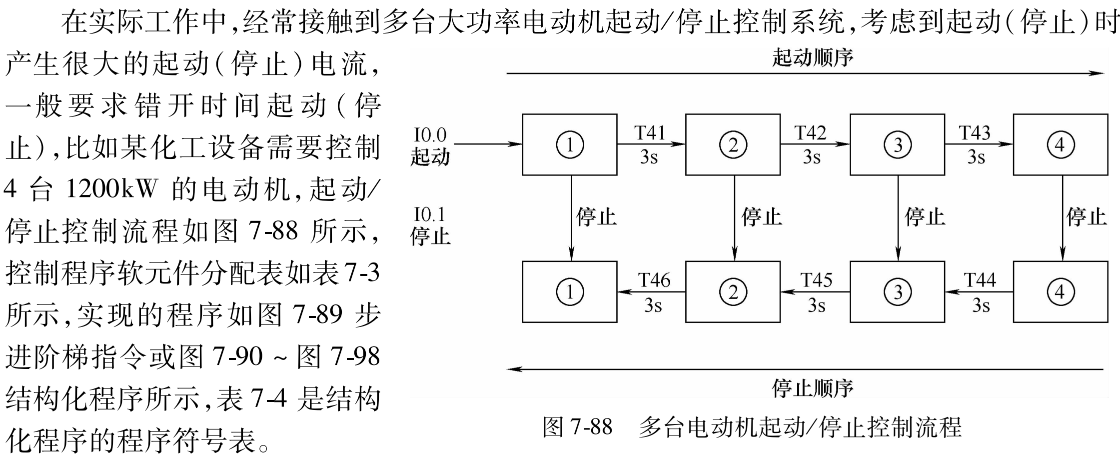


图 7-88　多台电动机起动/停止控制流程

表 7-3　控制程序软元件分配表

软元件	1 号电动机	2 号电动机	3 号电动机	4 号电动机
星形起动继电器	Q0. 0	Q0. 3	Q0. 6	Q1. 1
三角形运行继电器	Q0. 1	Q0. 4	Q0. 7	Q1. 2
主继电器	Q0. 2	Q0. 5	Q1. 0	Q1. 3
星-三角延时定时器	T37	T38	T39	T40
延时起动定时器	T41	T42	T43	—
延时停止定时器	—	T46	T45	T44
起动状态	S2. 0	S2. 1	S2. 2	S2. 3
停止状态	S2. 7	S2. 6	S2. 5	S2. 4
起动按钮	I0. 0			
停止按钮	I0. 1			

符　　号	地　　址	符　　号	地　　址
星 1	Q0. 0	SI _	T40
三 1	Q0. 1	YI _ ER	T41
主 1	Q0. 2	ER _ SAN	T42
星 2	Q0. 3	SAN _ SI	T43
三 2	Q0. 4	SI _ SAN	T44
主 2	Q0. 5	SAN _ ER	T45
星 3	Q0. 6	ER _ YI	T46
三 3	Q0. 7	初始化	S0. 0
主 3	Q1. 0	起动 1	S2. 0
星 4	Q1. 1	起动 2	S2. 1
三 4	Q1. 2	起动 3	S2. 2
主 4	Q1. 3	起动 4	S2. 3
起动	I0. 0	停 4	S2. 4
停止	I0. 1	停 3	S2. 5
YI	T37	停 2	S2. 6
ER	T38	停 1	S2. 7
SAN	T39		

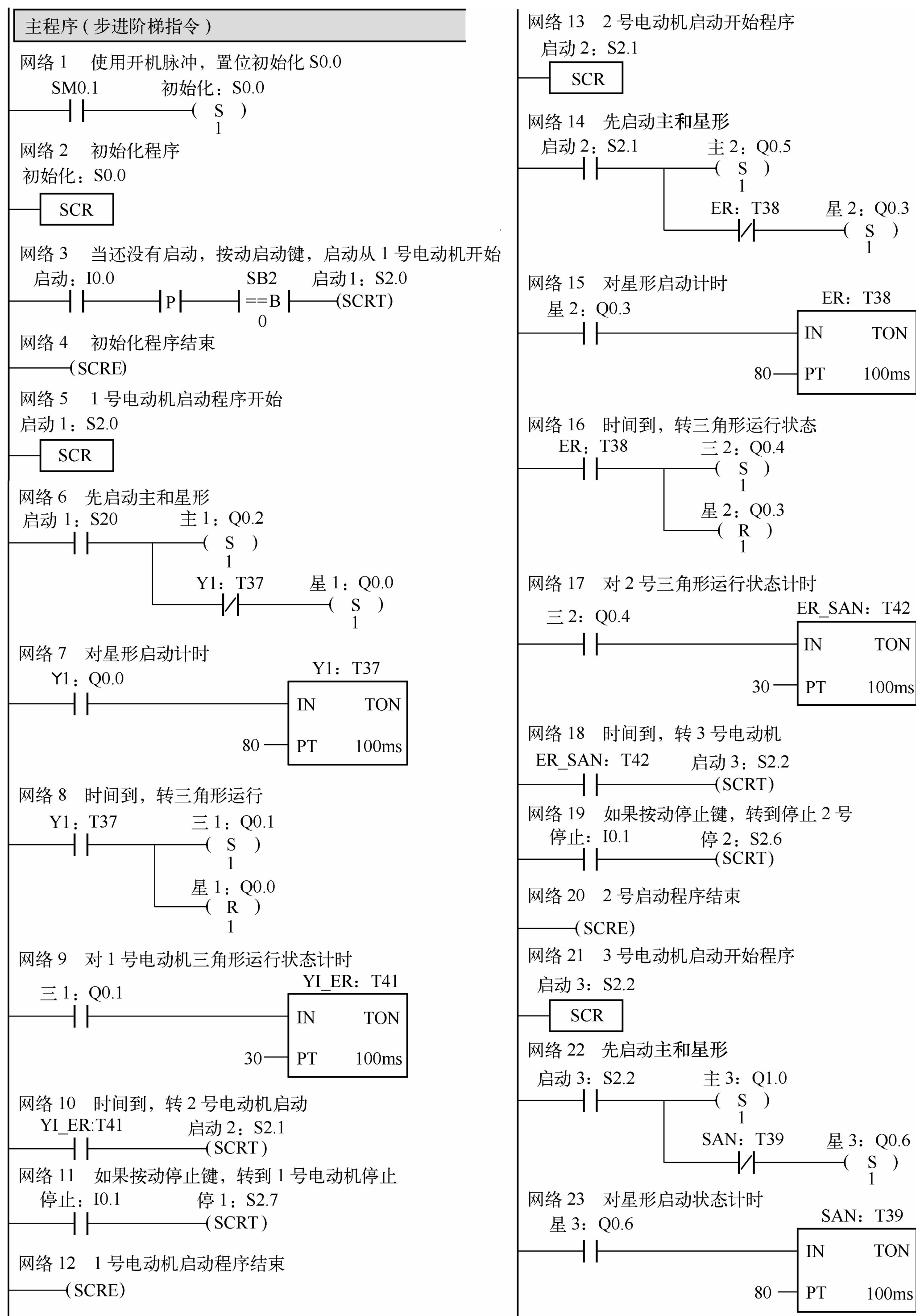


图 7-89 多台电动机起动/停止控制程序（步进阶梯指令）

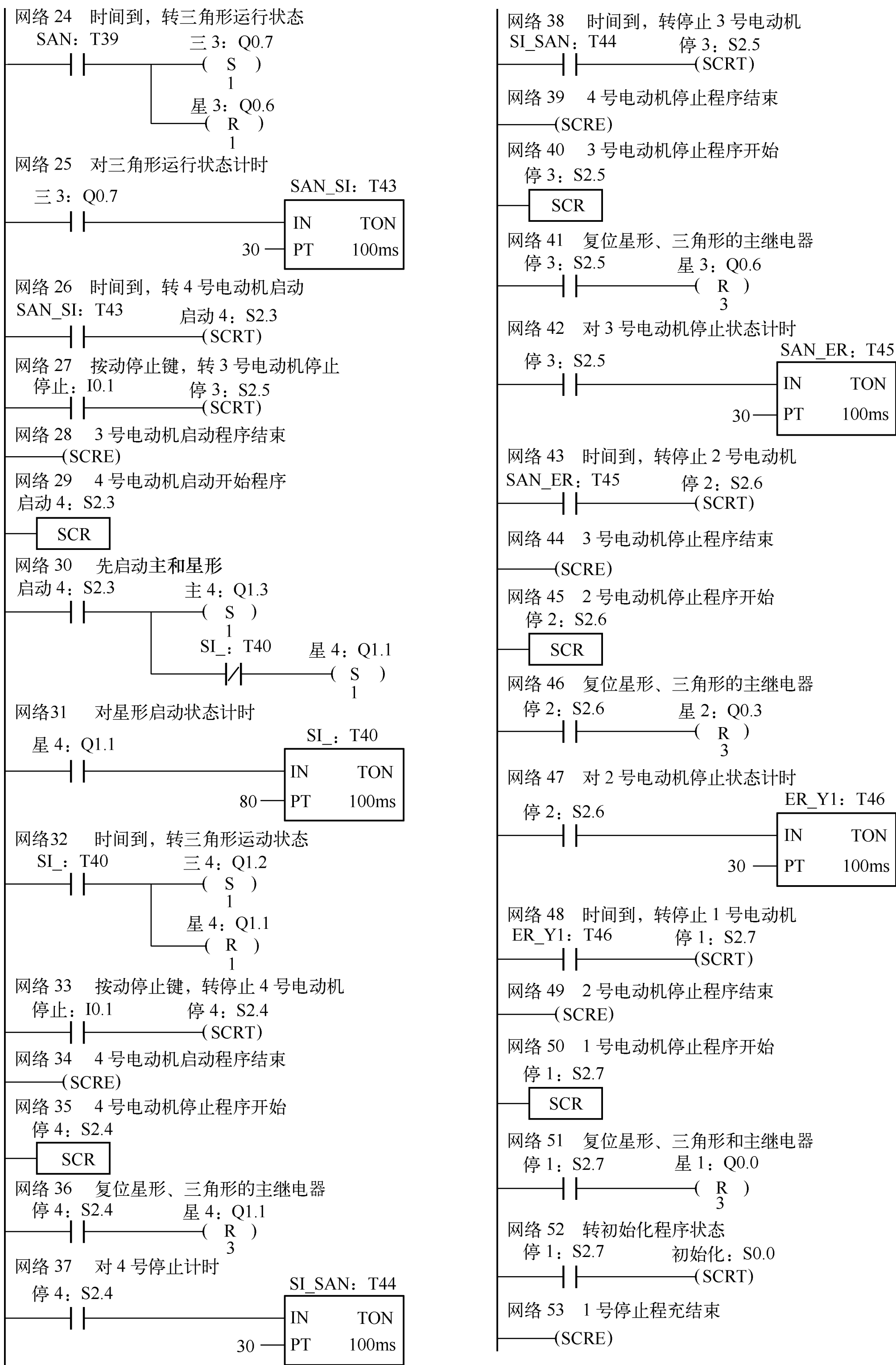


图 7-89　多台电动机起动/停止控制程序（步进阶梯指令）（续）

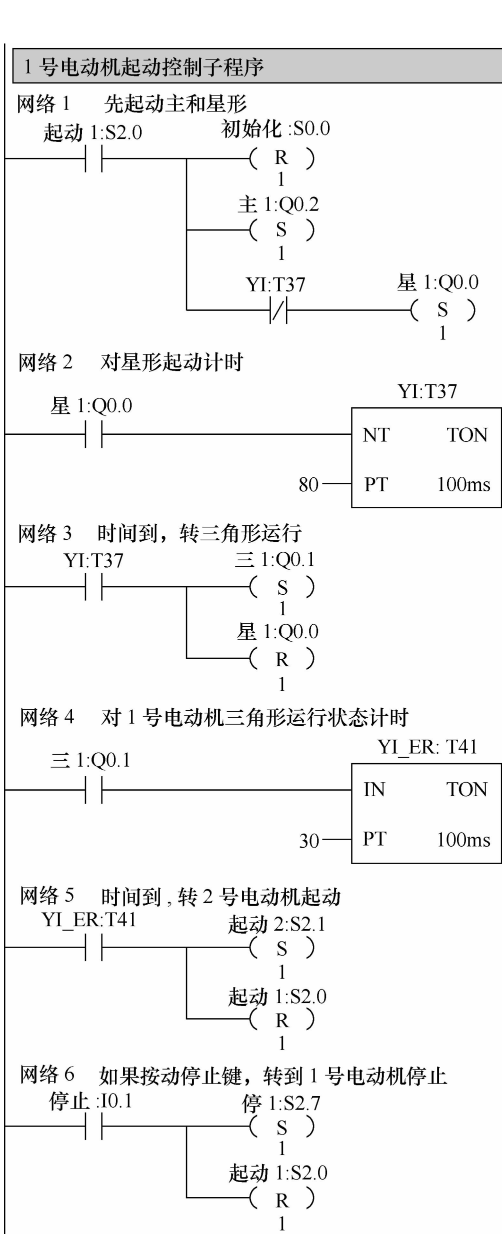


图 7-90　1 号电动机起动控制子程序

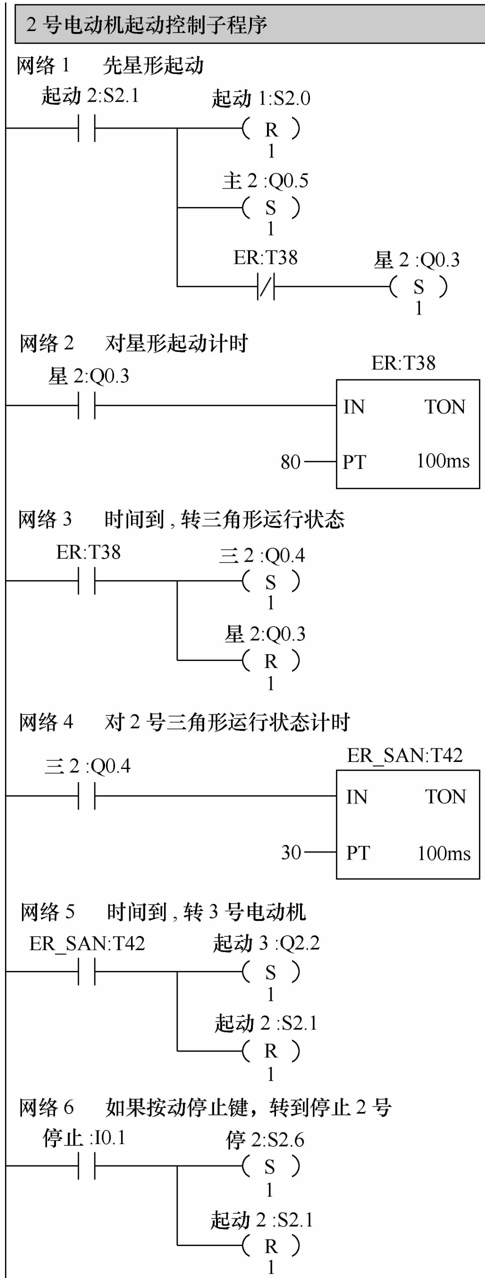


图 7-91　2 号电动机起动控制子程序

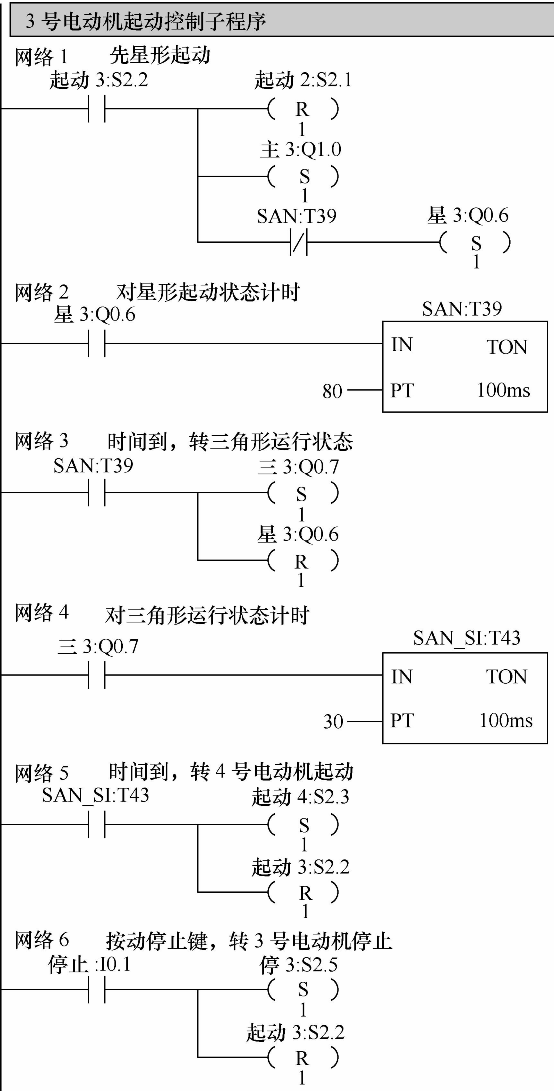


图 7-92　3 号电动机起动控制子程序

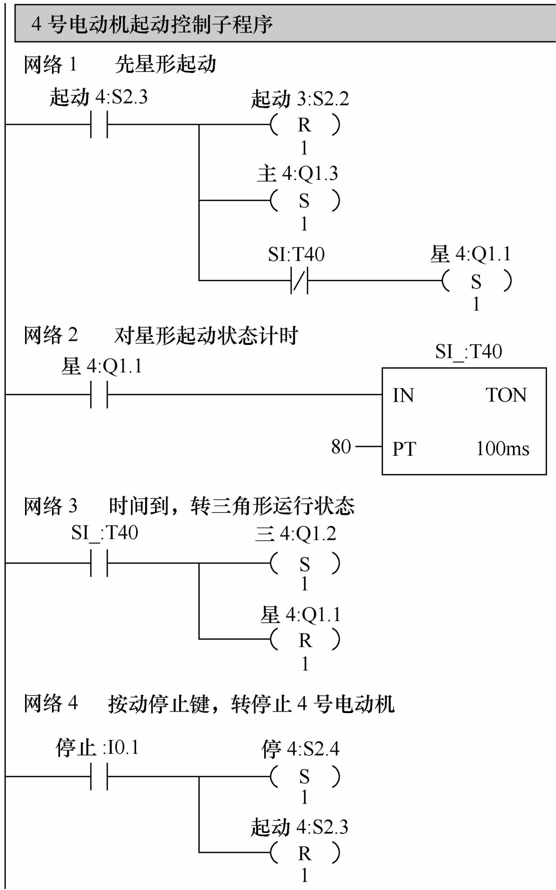


图 7-93　4 号电动机起动控制子程序

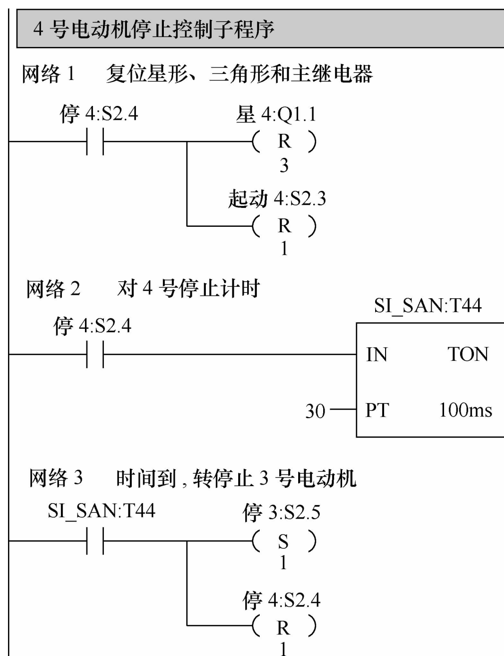


图 7-94　4 号电动机停止控制子程序

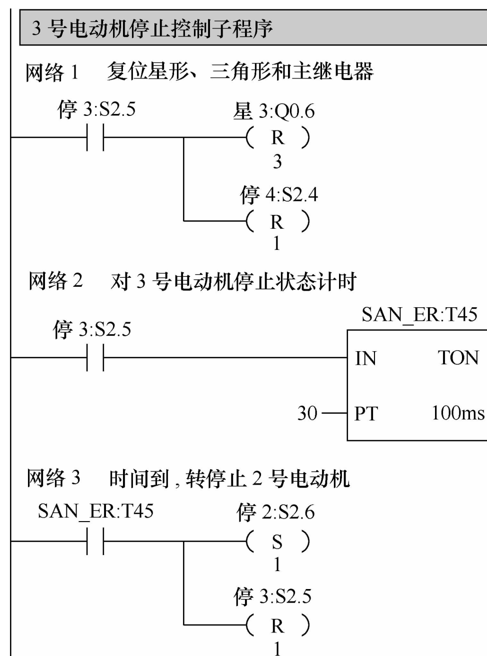


图 7-95　3 号电动机停止控制子程序

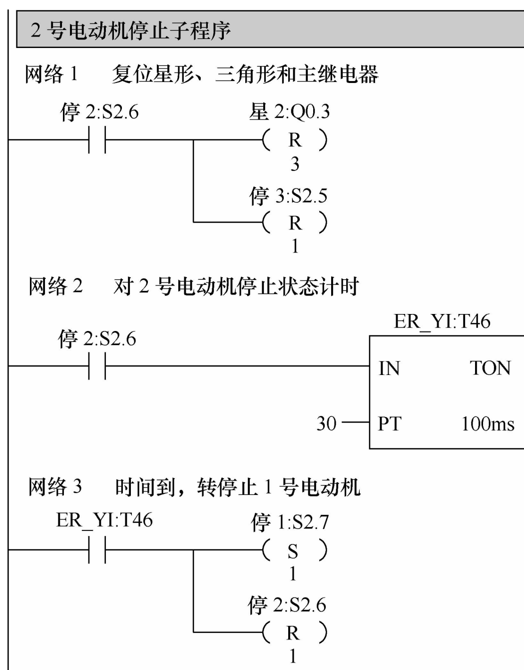


图 7-96　2 号电动机停止控制子程序

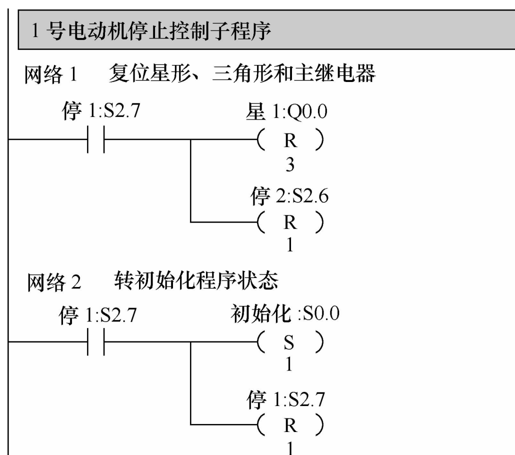


图 7-97　1 号电动机停止控制子程序

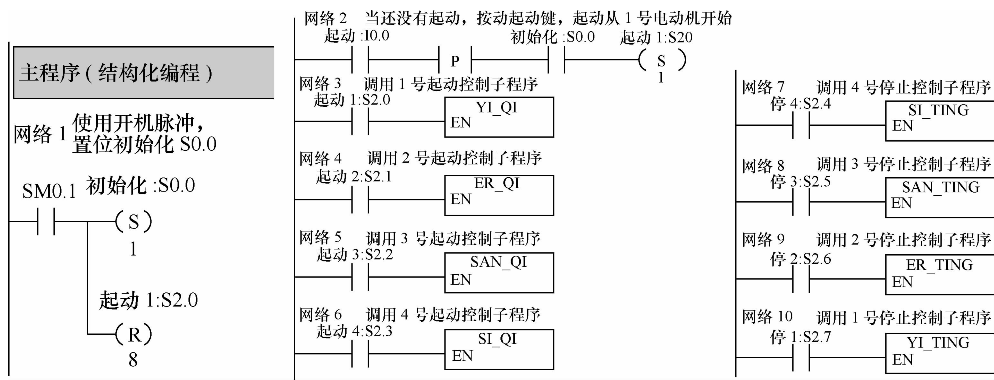


图 7-98　主程序（结构化）

表 7-4　结构化程序符号表

符　　号	地　址	注　　解	符　　号	地　址	注　　解
YI _ QI	SBR0	1 号电动机起动控制子程序	SAN _ TING	SBR5	3 号电动机停止控制子程序
ER _ QI	SBR1	2 号电动机起动控制子程序	ER _ TING	SBR6	2 号电动机停止控制子程序
SAN _ QI	SBR2	3 号电动机起动控制子程序	YI _ TING	SBR7	1 号电动机停止控制子程序
SI _ QI	SBR3	4 号电动机起动控制子程序	INT _ 0	INT0	中断例行程序注解
SI _ TING	SBR4	4 号电动机停止控制子程序	主	OB1	主程序（结构化编程）

7. 4. 2　恒压供水控制系统设计

传统建筑物最高的地方一般是水塔，把水抽到高水塔上，然后往下供水。这样的供水系统往往使系统里面的水压不恒定，而且水塔还常会引起二次污染。

现代使用的恒压供水系统，密闭的水池在地下，主要是为急需大量用水的缓冲使用。恒压供水系统一般由两至三台主泵和一台辅佐泵组成，当用水量很少或没有用水时，只开动辅佐泵即可；当检测到水压变低，系统自动增加泵或加快抽水速度，满足用水增大的需要；当压力变大或超高时，系统自动减泵或降低抽水速度。

实现恒压供水的设计程序很多，有些编写得很复杂。在这里通过对多年编程的改造和创新，给出一种比较成熟的恒压供水典型设计程序，希望能对读者有所启发。

本课程设计考虑的主要是编程算法，并没有考虑其实际使用的安全性，现还不能直接放在实际工程中应用。本设计中有 3 台主泵和 1 台辅佐泵，系统主电路如图 7-99 所示，使用 PLC 的配置如图 7-100 所示，PLC 的程序分配表如表 7-5 所示，软元件分配表如表 7-6 所示，实现程序如图 7-101 ~ 图 7-110 所示。

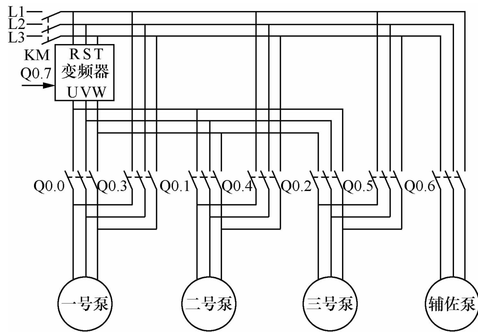


图 7-99　恒压供水电气原理图

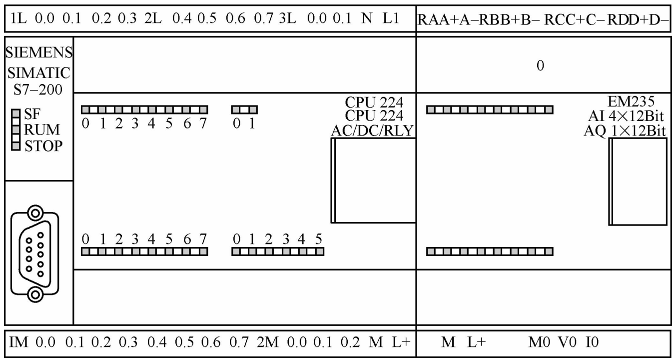


图 7-100　使用 PLC 的配置

表 7-5　PLC 的程序分配表

符　　号	地　址	注　　解	符　　号	地　址	注　　解
PID _ CH	SBR0	初始化 PID 参数	VB12 _ K	SBR5	泵号管理，免维护
DANG _ K	SBR1	挡位控制子程序	VB11 _ K	SBR6	自动挡增/减泵规律
VB12 _ 0	SBR2	自动一号运行规律	SHOU _ D	SBR7	手动规律控制子程序
VB12 _ 1	SBR3	自动二号运行规律	采样运算	INT0	0. 1s 采样及 PID 运算程序
VB12 _ 2	SBR4	自动三号运行规律	主	OB1	恒压供水控制系统主程序

表 7-6　软元件分配表

符　　号	地　　址	符　　号	地　　址
一变频	Q0. 0	自动运行标志	M20. 0
二变频	Q0. 1	泵号切换延时	T39
三变频	Q0. 2	定时中断	SMB34
一工频	Q0. 3	微分时间	VD524
二工频	Q0. 4	积分时间	VD520
三工频	Q0. 5	采样设时	VD516
辅佐泵	Q0. 6	增益	VD512
变频器运行	Q0. 7	自动减泵定时	T38
_1 手动_0 自动	I0. 0	自动增泵定时	T37
	I0. 1	一秒脉冲	SM0. 5
手动辅佐泵	I0. 2	变频频率	VW498
起动	I0. 3	供水设定值	VD504
停止	I0. 4	输出控制值	AQW0
_I 消防_0 生活	I0. 5	PID 输出	VD508
		PID 开始	VB500
泵号管理	VB12	采样数据	AIW0
规律控制	VB11	采样输入值	VD500
手动增减泵	VB13	一天计时	VD3000

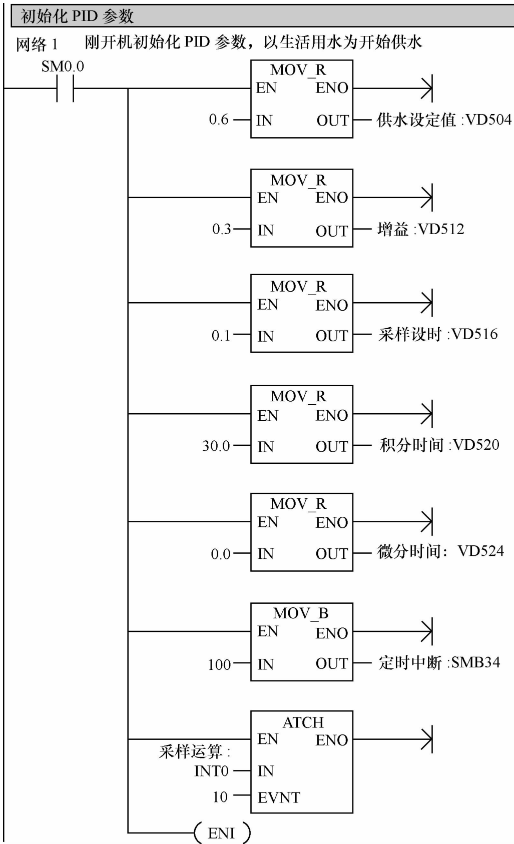


图 7-101　初始化 PID 参数子程序

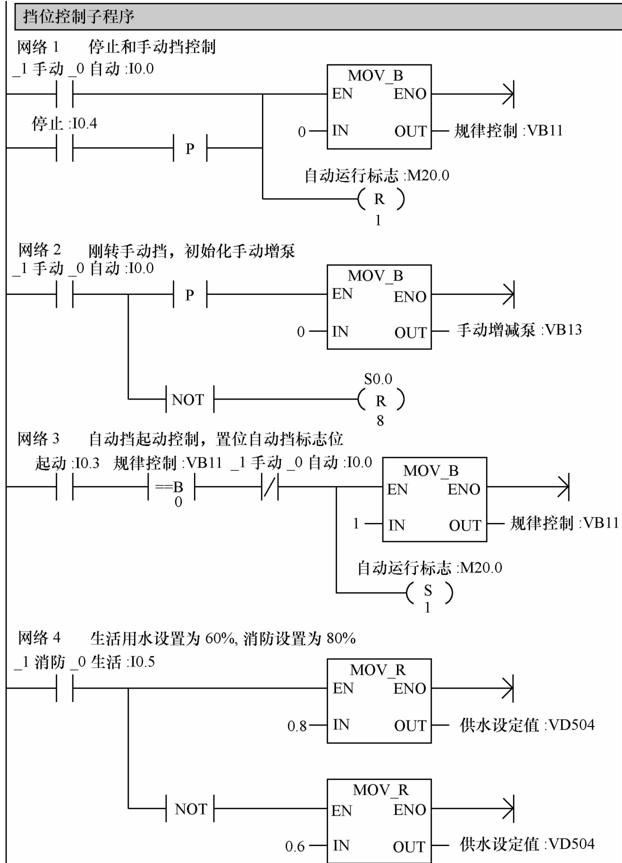


图 7-102　挡位控制子程序

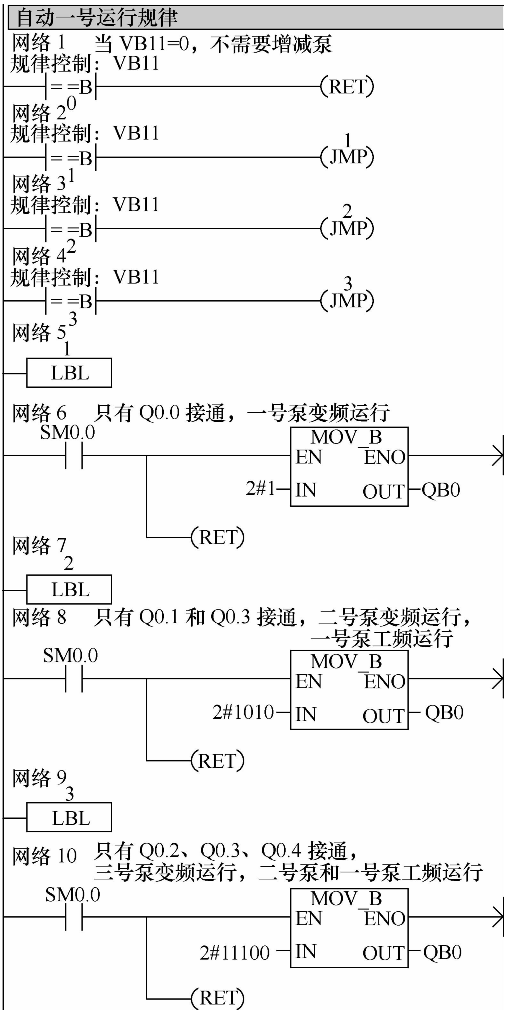


图 7-103　自动一号运行规律子程序

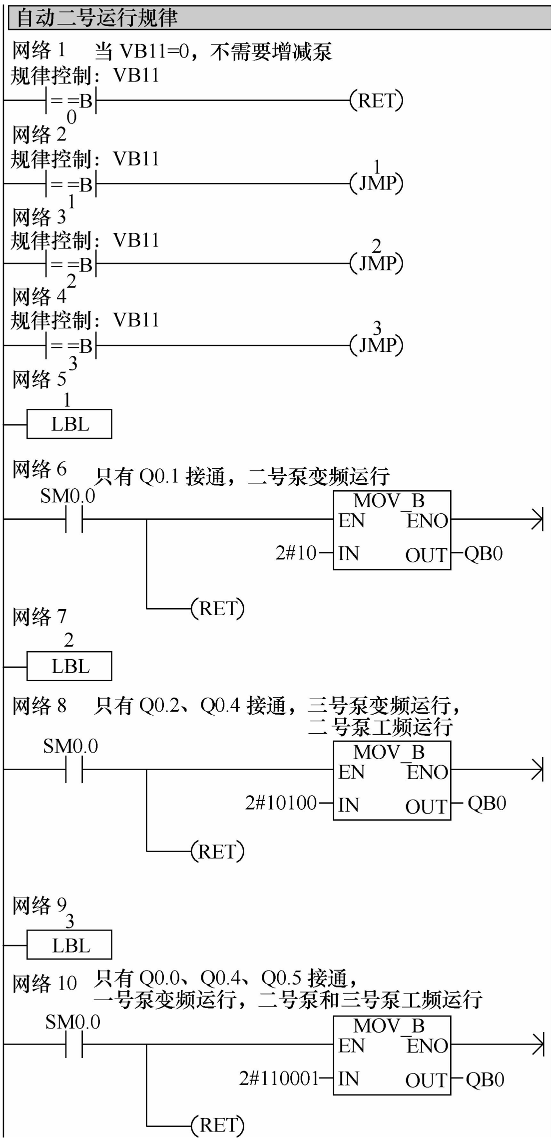


图 7-104　自动二号运行规律子程序

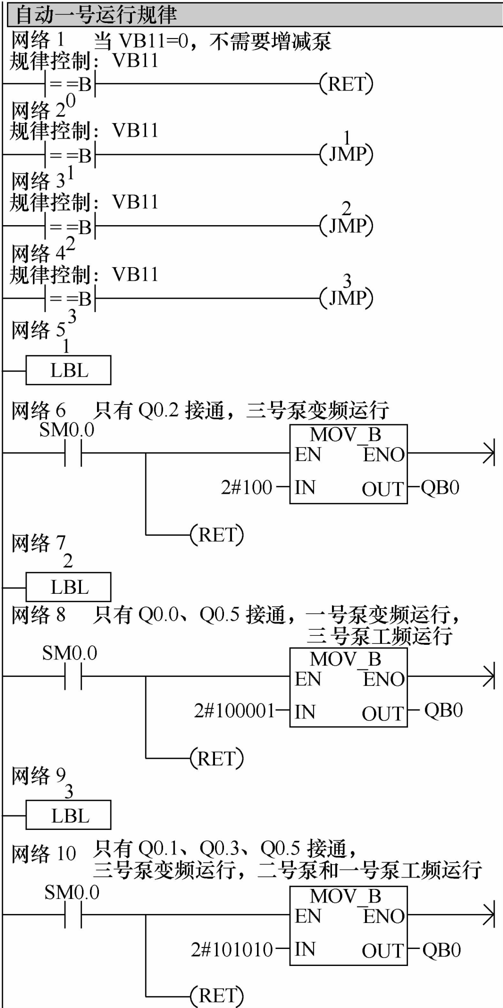


图 7-105　自动三号运行规律子程序

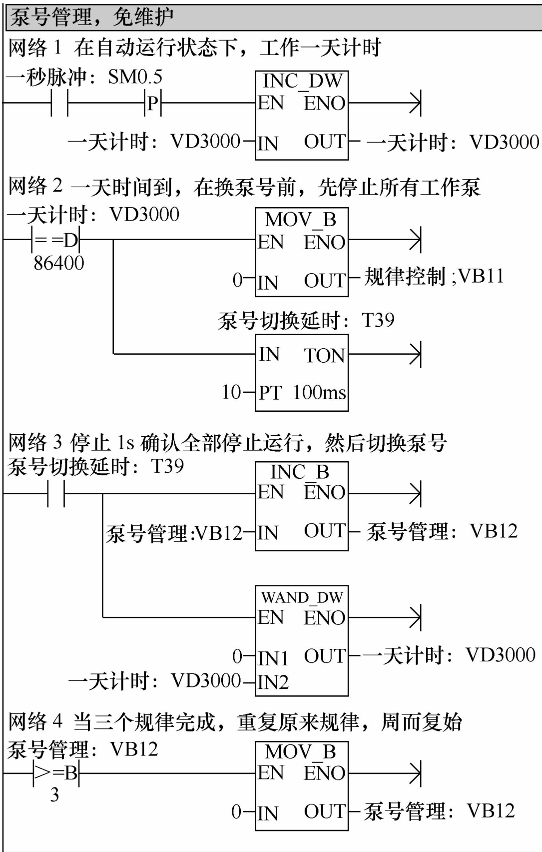


图 7-106　泵号管理子程序

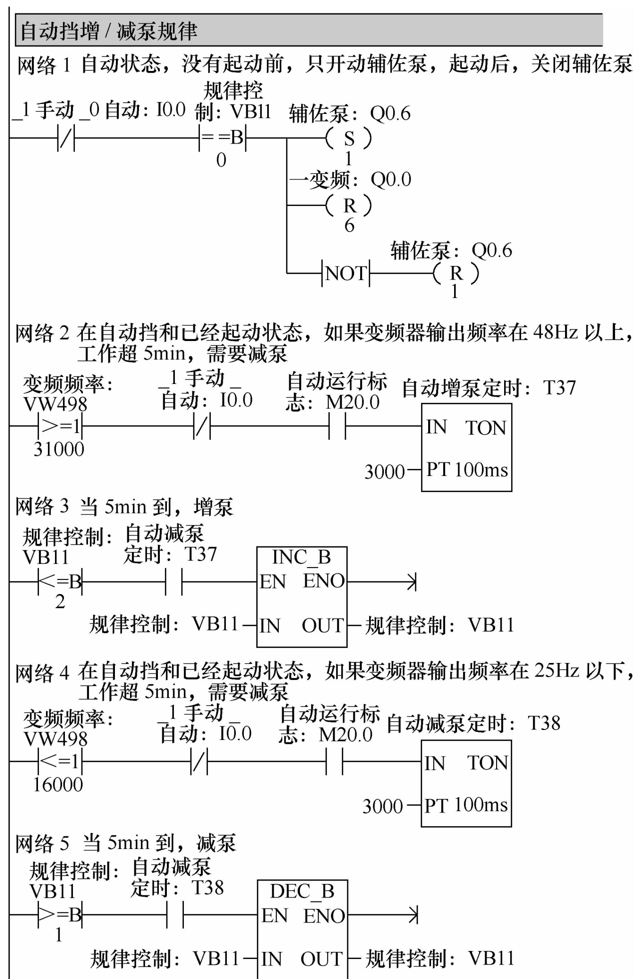


图 7-107　自动挡增/减泵规律控制子程序

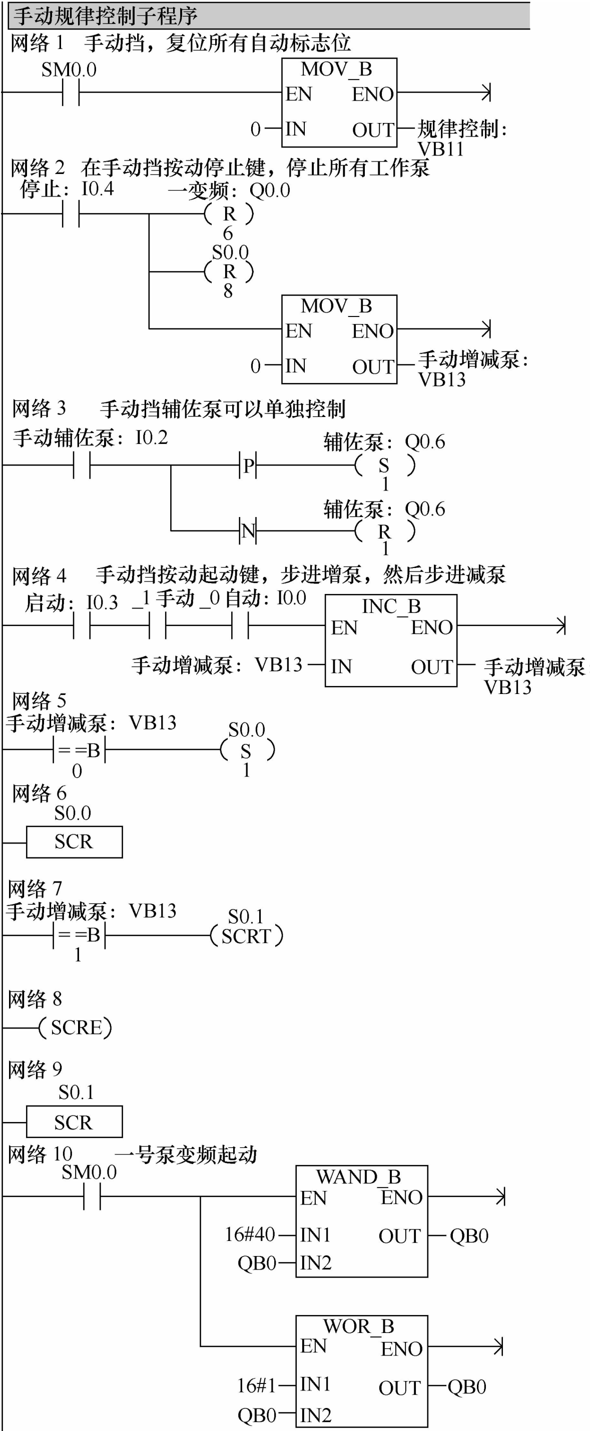


图 7-108　手动规律控制子程序

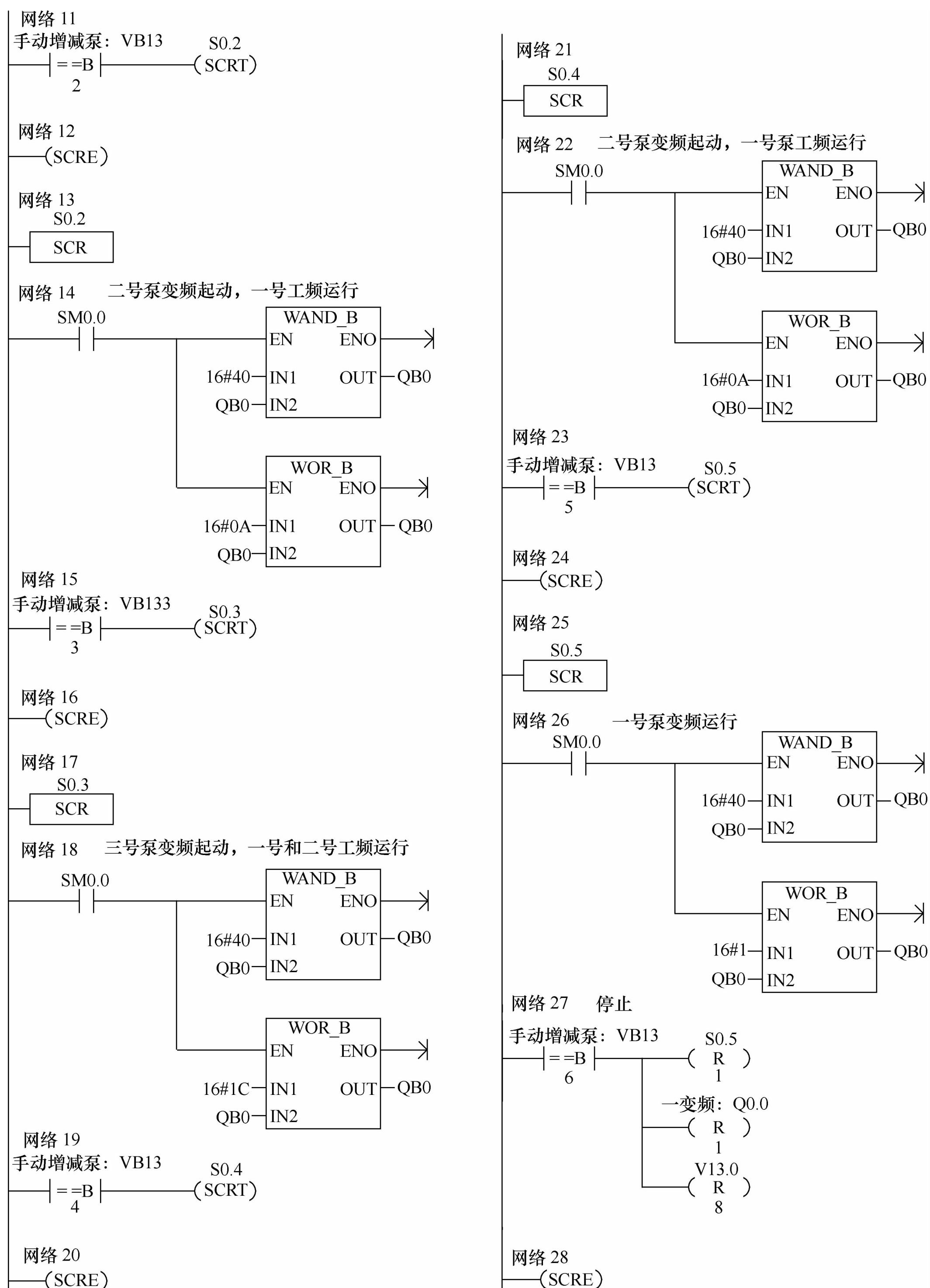


图 7-108　手动规律控制子程序（续）

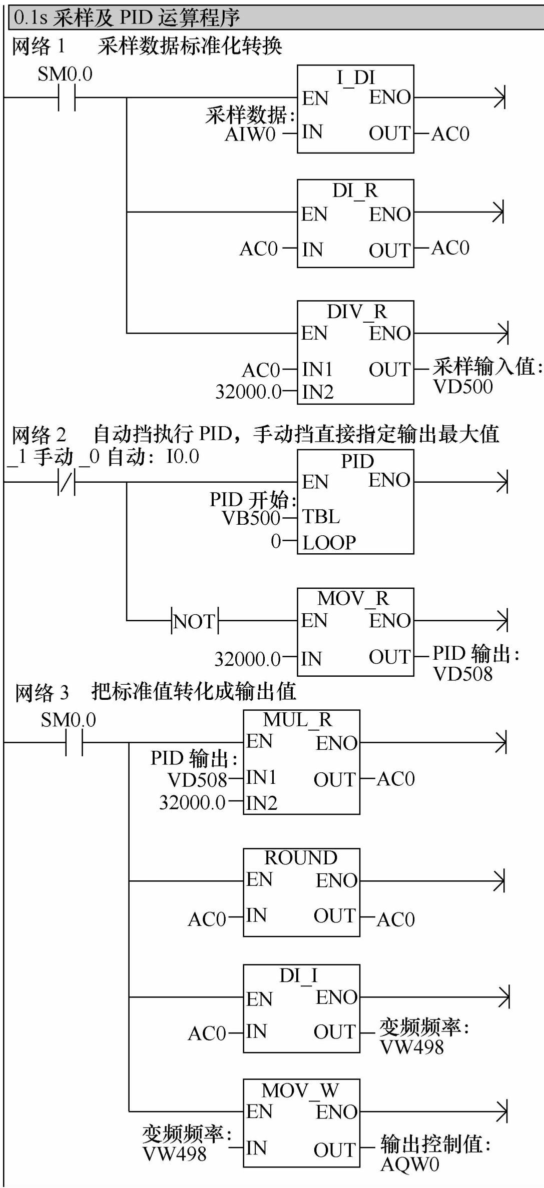


图 7-109　采样及 PID 运算中断程序

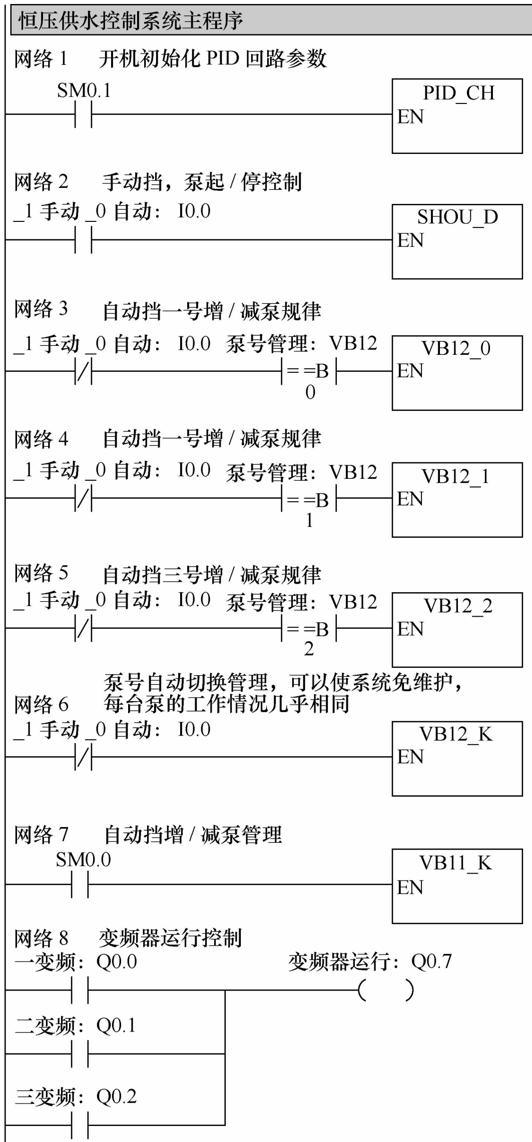


图 7-110　恒压供水控制系统主程序

7.4.3　搬运机械手控制系统

搬运机械手模型、动作示意图和控制面板如图 7-111 所示；编程软元件分配表见表 7-7，程序设计符号分配表见表 7-8。

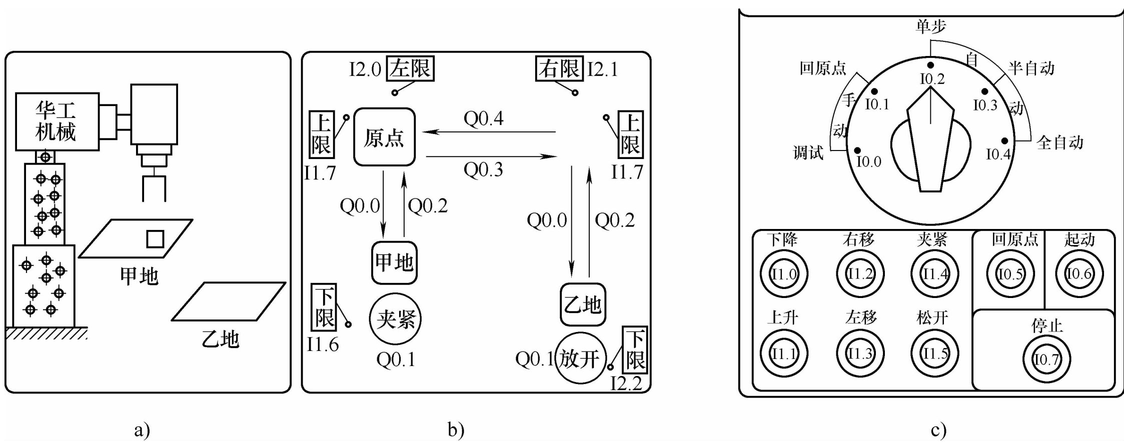


图 7-111　搬运机械手模型、动作示意图和控制面板

a）搬运机械手模型　b）动作示意图　c）控制面板

表 7-7　编程软元件分配表

符　　号	地　　址	符　　号	地　　址
调试挡	I0. 0	夹放	Q0. 1
回原点挡	I0. 1	升	Q0. 2
单步	I0. 2	右	Q0. 3
半自动	I0. 3	左	Q0. 4
全自动	I0. 4	夹紧右移	S1. 0
回原点	I0. 5	空手上升 1	S1. 1
起动	I0. 6	空手左移	S1. 2
停止	I0. 7	原点缓冲	S1. 3
下降令	I1. 0	夹紧上升	S1. 4
上升令	I1. 1	空手上升 2	S1. 5
右移令	I1. 2	夹紧下降	S1. 6
左移令	I1. 3	放	S1. 7
夹紧令	I1. 4	自动状态缓冲	S3. 1
松开令	I1. 5	左下降	S2. 0
甲下到位	I1. 6	夹紧状态	S2. 1
上到位	I1. 7	夹紧上升状态	S2. 2
左限位	I2. 0	夹紧右移状态	S2. 3
右限位	I2. 1	夹紧下降状态	S2. 4
乙下到位	I2. 2	松开状态	S2. 5
自动转移管理	VB0	右空手上升	S2. 6
挡位管理	VB1	空手左移状态	S2. 7
换挡允许	VB2	单步挡标志	M0. 1
下	Q0. 0	半自动标志	M0. 2

（续）

符　　号	地　　址	符　　号	地　　址
全自动标志	M0.3	停止标志	M1.0
手动挡标志	M0.4	回原点停止	M1.2
原点挡标志	M0.5	起动回原点	M1.3
已回原点	M0.6	转移信号	M1.4
定义原点	M0.7	起动信号	M1.5

表 7-8　程序设计符号分配表

符　　号	地　　址	符　　号	地　　址
SHOU _ D	SBR0	DANG _ G	SBR3
HUI _ L	SBR1	INT _ 0	INT0
ZI _ D	SBR2	主	OB1

搬运机械手控制系统的 PLC 程序如图 7-112 ~ 图 7-117 所示。

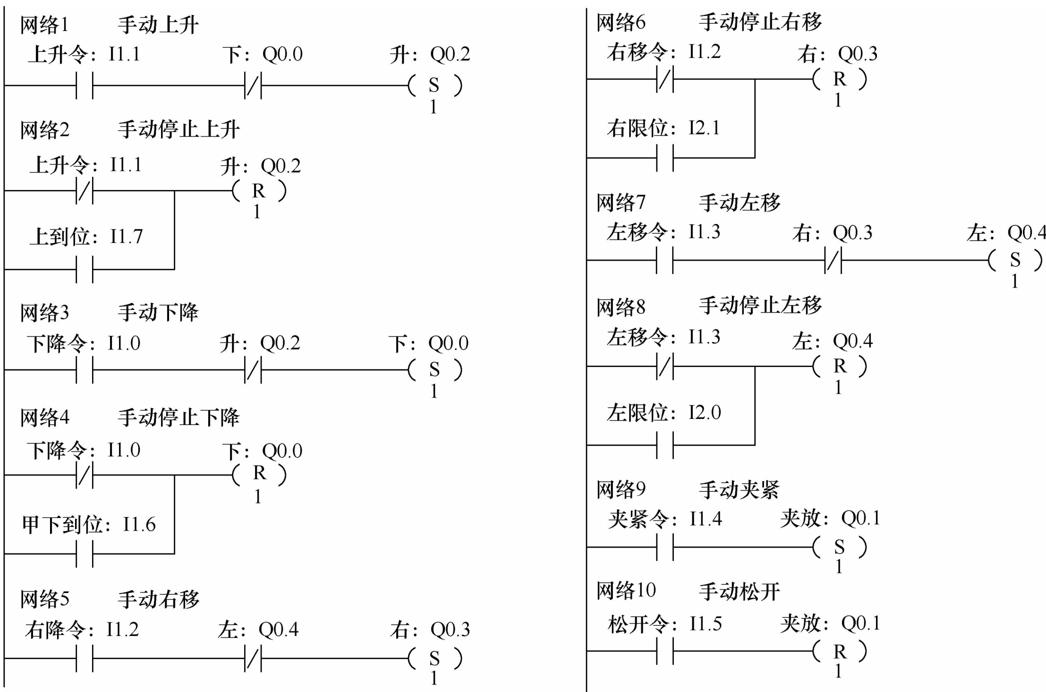


图 7-112　手动调试挡子程序（SBR0）

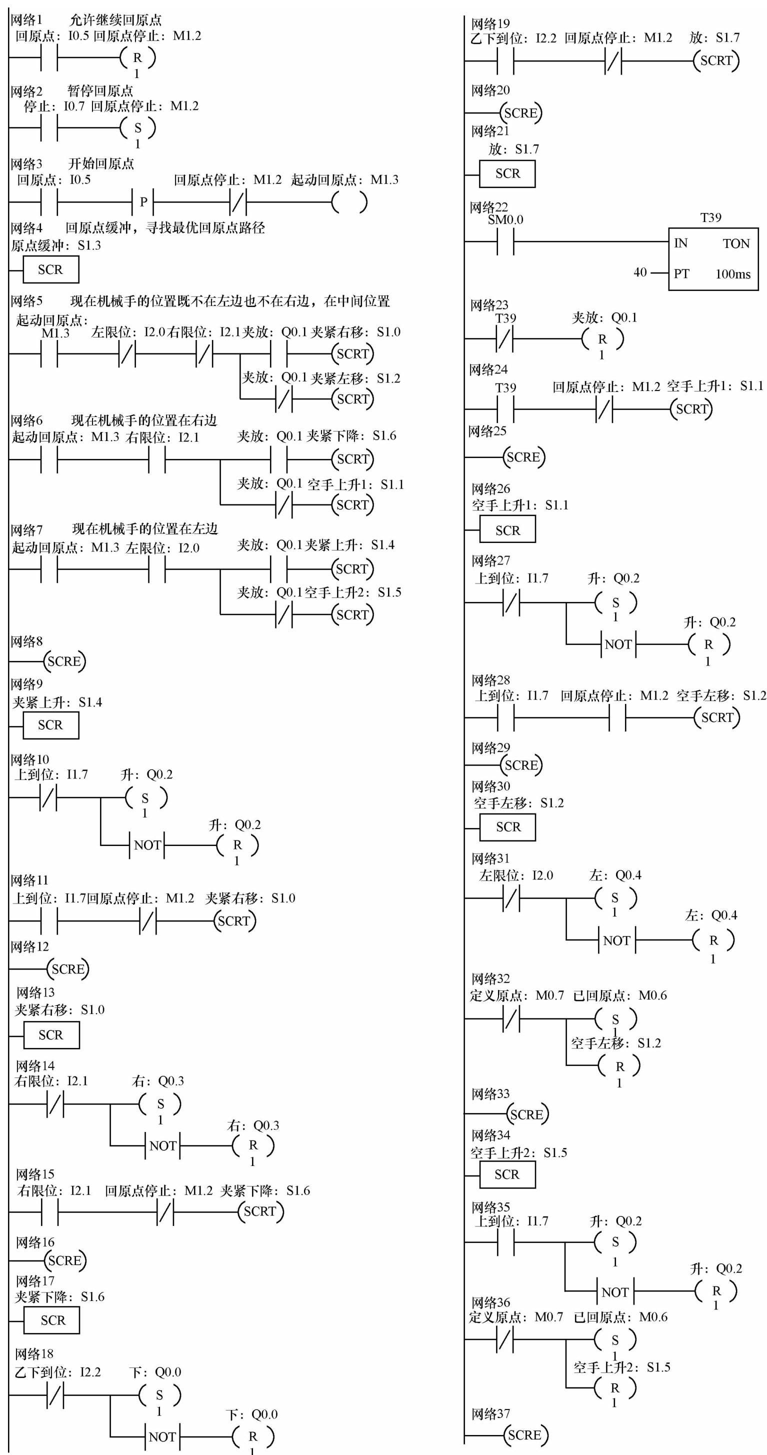


图 7-113　回原点子程序（SBR1）

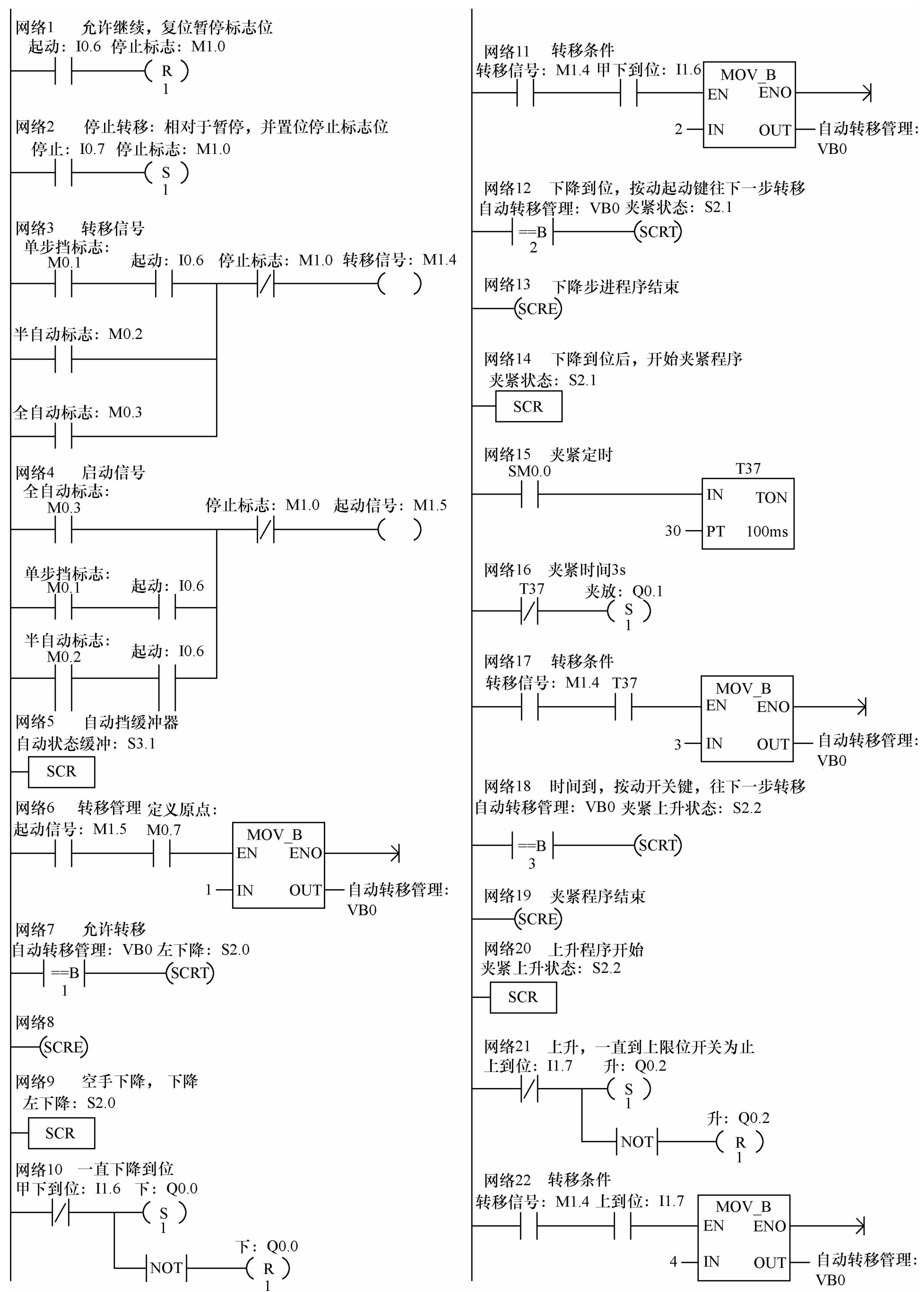


图 7-114　自动挡子程序（SBR2）（1）

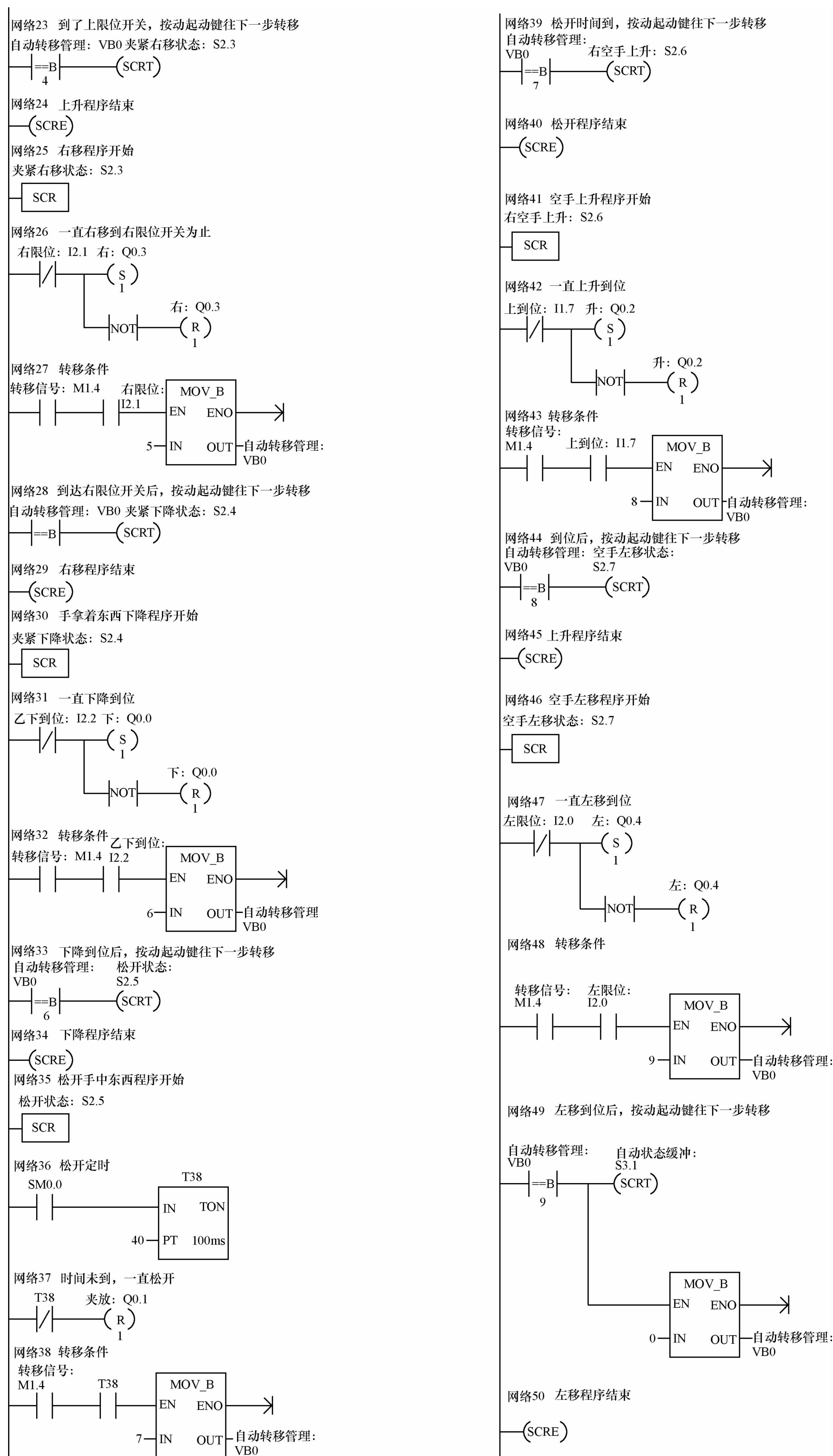


图 7-115 自动挡子程序（SBR2）（2）

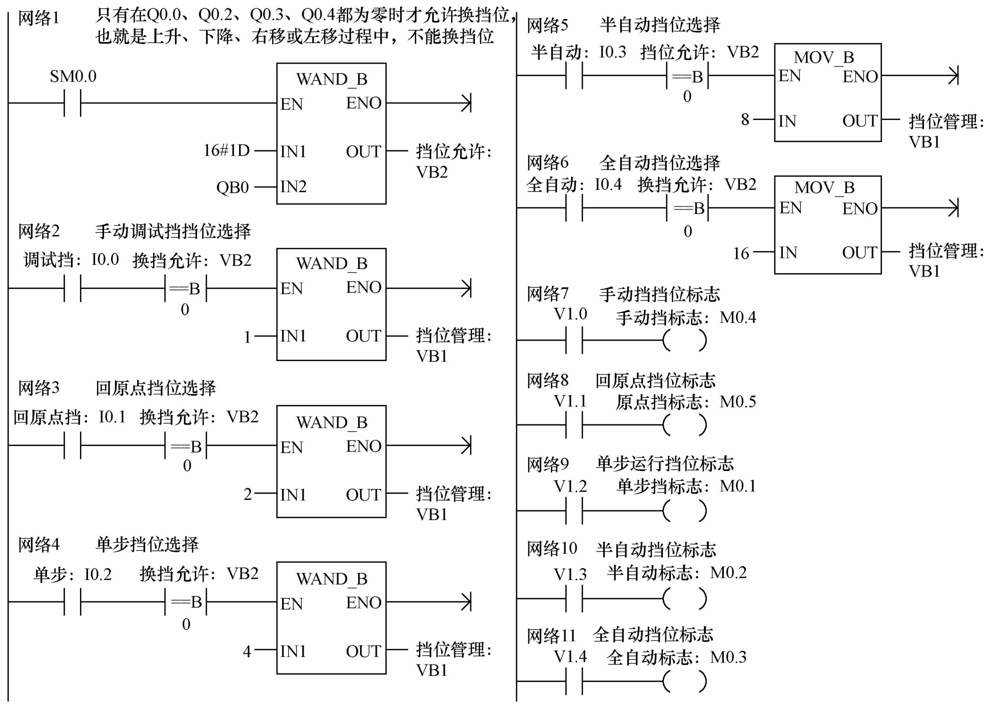


图 7-116　挡位管理子程序（SBR3）

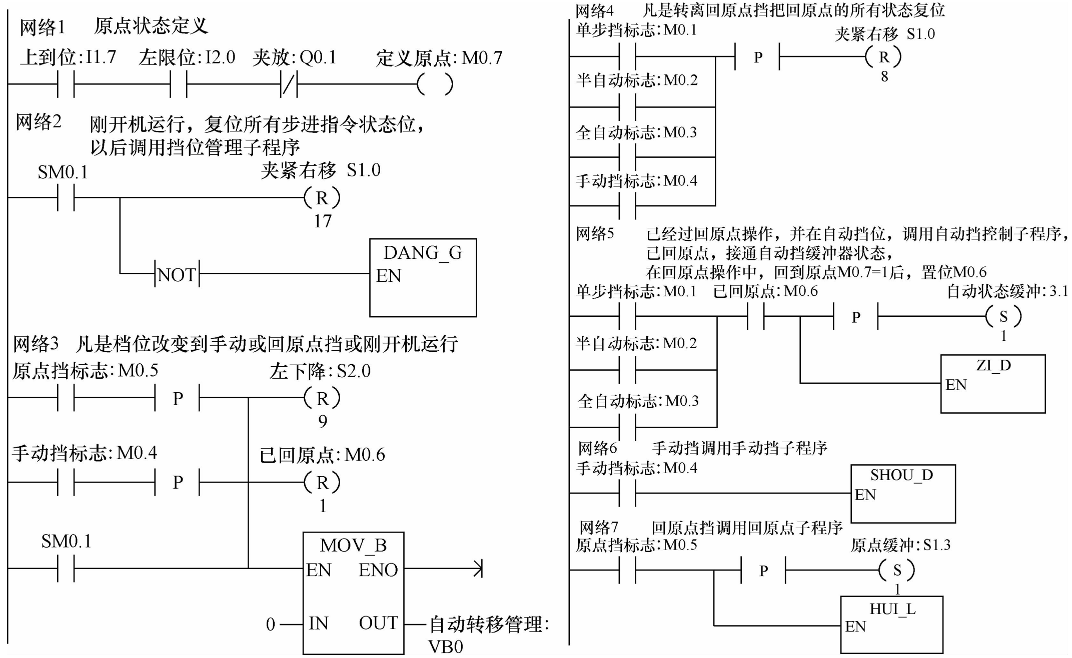


图 7-117　主程序（OB1）

首先把搬运机械手按照要求将输入与输出的线路接好，把图 7-112 ~ 图 7-117 所示的控制程序下载到 PLC 中。

手动调试操作：把控制面板的挡位开关扳动到调试挡位置，I0.0 接通，监控 PLC 的程序，这时执行主程序、手动调试子程序和挡位管理子程序。点动 I1.0 和 I1.1，使搬运机械手上下移动，这时要特别注意上限开关和下限开关位置是否合适？如果不合适，首先要小心调整开关位置使其位置合适；再点动 I1.2 和 I1.3，使机械手左右移动，这时也要特别注意左限开关和右限开关位置是否合适？如果不合适，马上小心调整位置使其位置合适；最后点动 I1.4 和 I1.5，调整甲和乙平台的位置，使搬运机械手的手指能够灵活地夹紧货物和松开货物。在夹紧货物时要特别注意要求有机械联锁装置，以免在途中突然停电货物下落而发生危险事故。

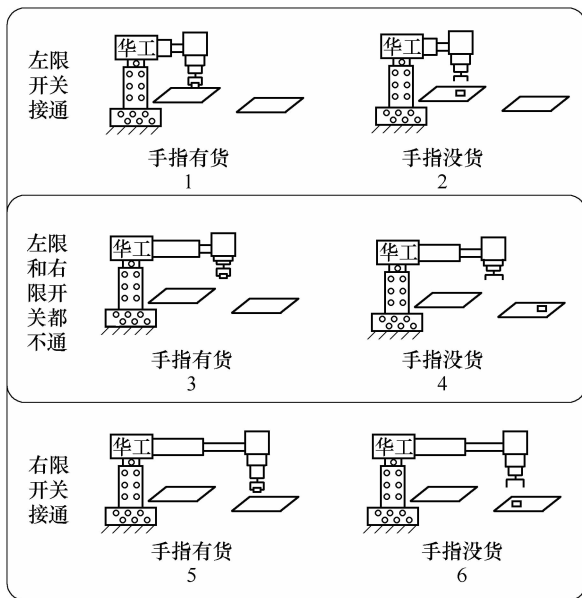


图 7-118　机械手回原点操作时可能的 6 种位置

回原点操作：手动调试结束后，可以把控制面板的挡位开关扳动到回原点挡位置，I0.1 应该接通，监控 PLC 程序，这时执行主程序、回原点子程序和挡位管理子程序，按动控制面板的回原点开始按钮 I0.5，机械手自动判断当前的位置，找到最优回原点的路径。当需要暂停时，可以按动控制面板上的停止按钮，即可停止；需要继续运行，按动控制面板的回原点按钮即可。回原点的路径按照机械手当前所在位置不同有 6 种情况，如图 7-118 所示。

机械手当前位置在图 7-118 所示的“1”位置，当接通 I0.5 时，S1.4 状态接通。

机械手当前位置在图 7-118 所示的“2”位置，当接通 I0.5 时，S1.5 状态接通。

机械手当前位置在图 7-118 所示的“3”位置，当接通 I0.5 时，S1.0 状态接通。

机械手当前位置在图 7-118 所示的“4”位置，当接通 I0.5 时，S1.2 状态接通。

机械手当前位置在图 7-118 所示的“5”位置，当接通 I0.5 时，S1.6 状态接通。

机械手当前位置在图 7-118 所示的“6”位置，当接通 I0.5 时，S1.1 状态接通。

当机械手回到原点后，监控 PLC 的程序 M0.6 和 M0.7 的状态，应该是接通了。

自动操作：注意每次开机都必须在回原点操作完毕后才能进入自动操作状态。

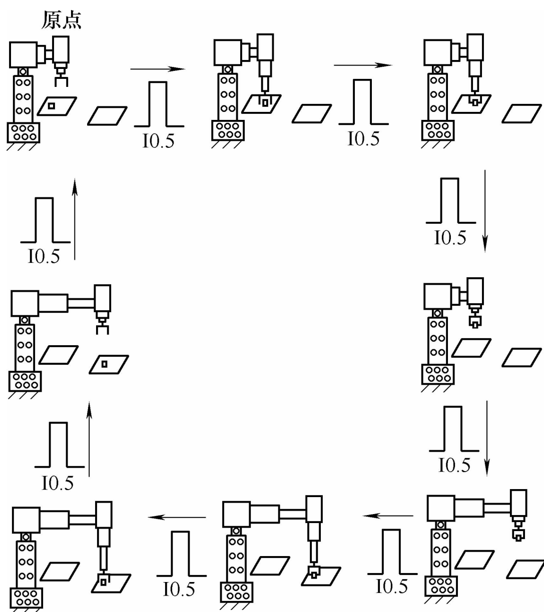


图 7-119　单步操作方式动作顺序图

自动挡中又分 3 种操作模式：单步（如图 7-119 所示）、半自动（如图 7-120 所示）、和全自动操作（如图 7-121 所示）。经过回原点操作后，自动挡的 3 种工作模式可以随时转换。

全自动操作：回原点操作完毕后，把控制面板的挡位开关扳到全自动挡位置，I0.4 应该接通，监控 PLC 程序，这时执行主程序、自动挡子程序和挡位管理子程序，只接通 I0.6 一次，M1.4 和 M1.5 接通，机械手就周而复始地如图 7-121 所示动作运行，一直到接通控制面板的停止键时，机械手暂停；当需要继续运行时，按动起动键即可。

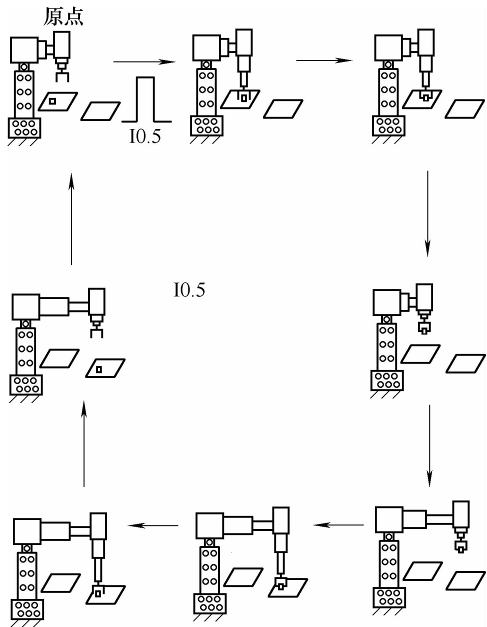


图 7-120　半自动操作方式动作顺序图

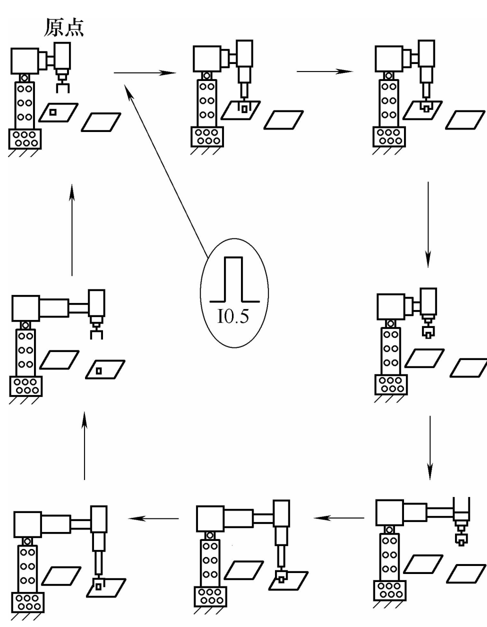


图 7-121　全自动操作方式动作顺序图

7.4.4　PLC 的顺序控制程序设计

在中小型 PLC 控制系统中，大量的控制为顺序控制。顺序控制是根据预先程序设计中，对控制过程各阶段顺序地进行自动控制。

可以按照控制的过程中变化的参量来进行控制：如按照时间进行控制的称为时控系统；按照位置进行控制的系统称为位控系统。

在具体的编程设计中，可分别采用以下两类指令进行程序编制。

1）采用基本逻辑指令：程序语句少，结构比较灵活，但可读性较差。

2）采用顺序控制指令：程序结构严谨，可读性较好，但程序语句较多。

一般而言，对于一些简单的控制任务可直接采用基本逻辑指令；而对一些较复杂的控制任务，则采用顺序控制指令较好。本课程设计将通过实例进行具体的程序设计，并分别采用两类指令给出参考程序，读者可以通过对比从中更好地掌握 S7-200 的指令及其编程应用。

1. 按时间顺序控制的编程

时间顺序控制，即按照时间原则进行顺序控制。它是以时间作为控制条件，每间隔一段时间进行一定的动作，当设定时间到时，自动转移到下一个动作，下面举例说明。

（1）功能要求

用 S7-200 实现彩灯的自动控制，控制过程为按下起动按钮，第 1 个红灯亮；10s 后，第 2 个绿灯亮；再隔 10s 后，第 3 个黄灯亮；持续 20s 后返回，重新开始。而按下停止按钮，则程序终止运行。

（2）程序设计

首先进行地址分配，根据题目的要求，可以确定输入和输出，见表 7-9。

表 7-9　I/O 地址分配

输入信号		输出信号	
地　　址	功能说明	地　　址	功能说明
I0.0	起动按钮	Q0.0	红灯控制
I0.1	停止按钮	Q0.1	绿灯控制
		Q0.2	黄灯控制

接下来就可以进行程序编写，这里将分别采用两类指令进行时间顺序控制编程。

1）采用基本逻辑指令。3 个灯的顺序点亮是根据时间进行转换的，因此这里采用 3 个定时器，定时时间到，改变相应输出。

梯形图程序如图 7-122 所示。语句表程序如图 7-123 所示。

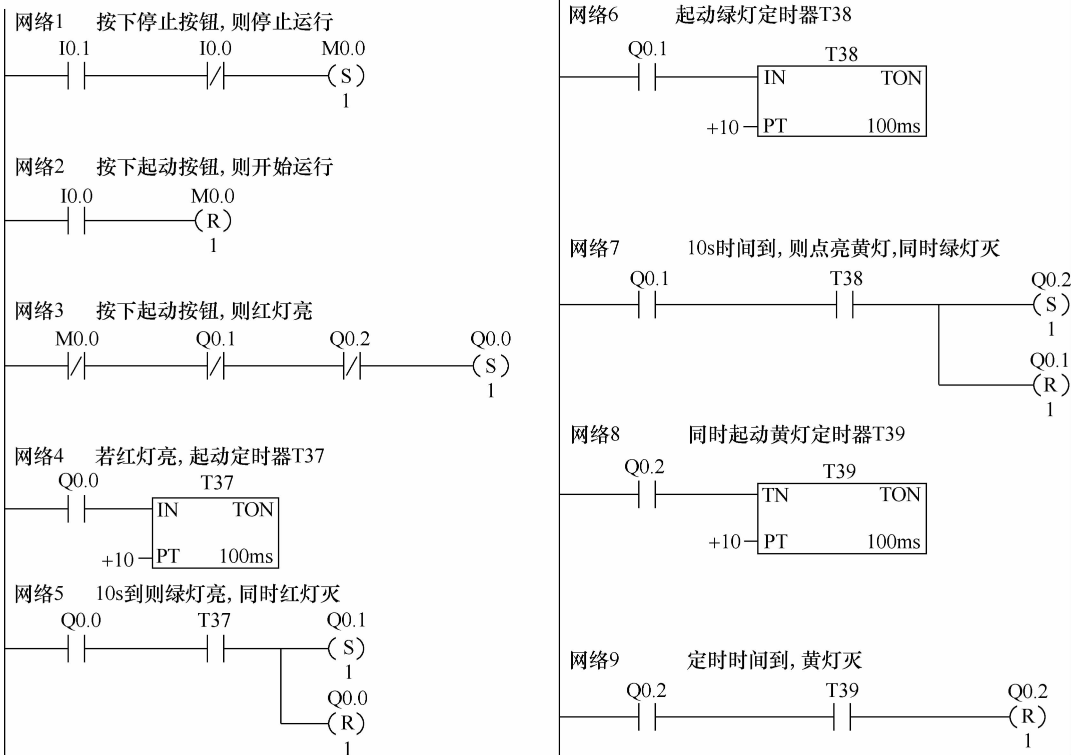


图 7-122　梯形图程序

```
网络1    按下停止按钮，则停止运行
ID       I0.1
AN       I0.0
S        M0.0,1

网络2    按下起动按钮，则开始运行
ID       I0.0
R        M0.0,1

网络3    按下起动按钮，则红灯亮
LDN      M0.0
AN       Q0.1
AN       Q0.2
S        Q0.1,1

网络4    若红灯亮，起动定时器T37
LD       Q0.0
TON      T37,+10

网络5    10s到则绿灯亮，同时红灯灭
LD       Q0.0
A        T37
S        Q0.1,1
R        Q0.0,1

网络6    起动绿灯定时器T38
LD       Q0.1
TON      T38,+10

网络7    10s时间到，则点亮黄灯,同时绿灯灭
LD       Q0.1
A        T38
S        Q0.2,1
R        Q0.1,1

网络8    同时起动黄灯定时器T39
LD       Q0.2
TON      T39,+10

网络9    定时时间到，黄灯灭
LD       Q0.2
A        T39
R        Q0.2,1
```

图 7-123　语句表程序

2）采用顺序控制指令。把时间作为每一个状态的转移条件，当定时时间到，自动转移到下一状态。

梯形图程序如图 7-124 所示。语句表程序如图 7-125 所示。

2. 按位置顺序控制的编程

位置顺序控制：即按照位置原则进行顺序控制。它是以位置作为控制条件，每到达一个位置进行一定的动作，完成后自动地转移到下一个动作，下面举例说明。

（1）功能要求

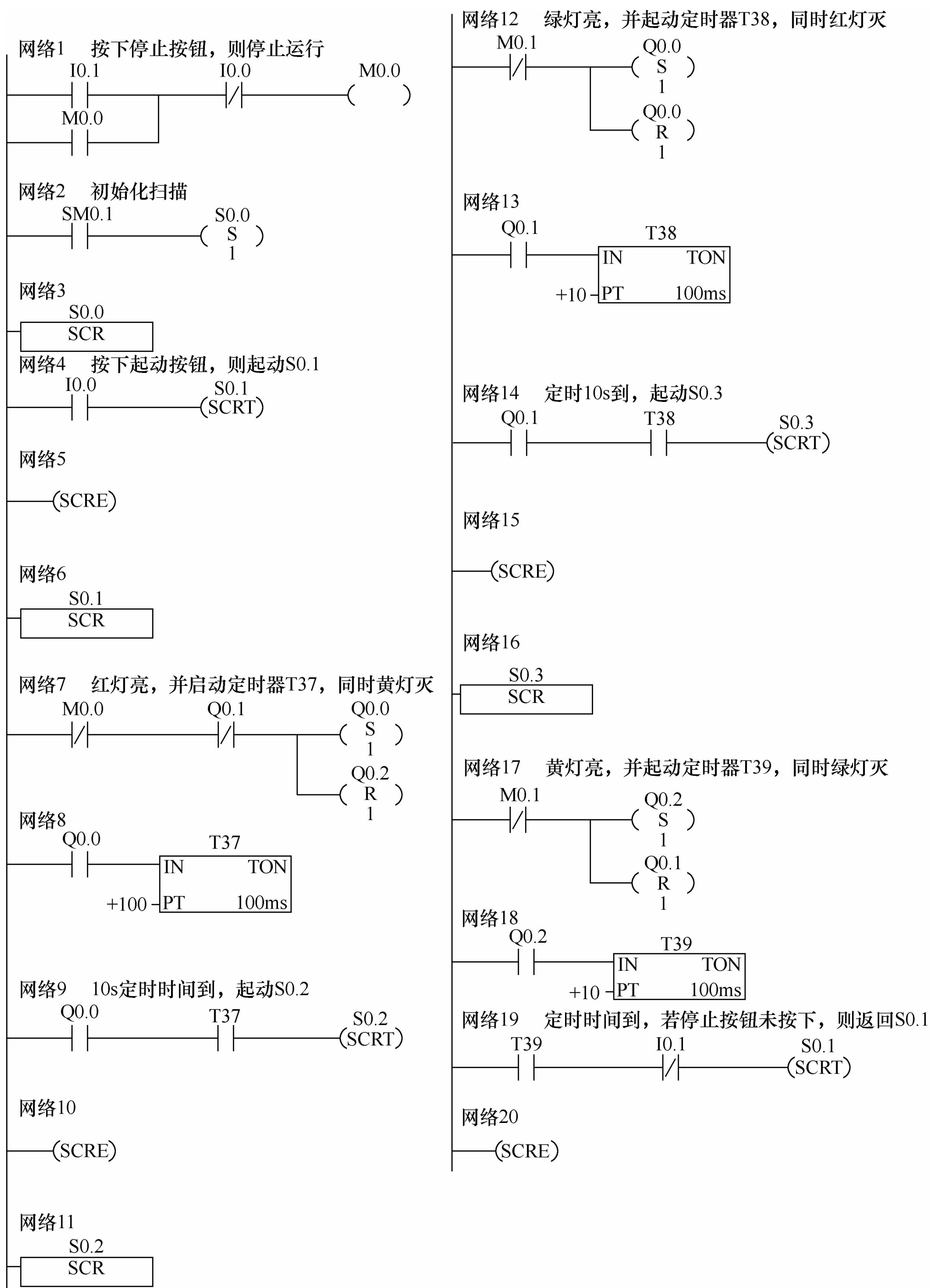
用 S7-200 实现小车的自动往复控制，控制过程为按下起动按钮，小车左行，碰到左侧的行程开关后，小车开始向右运行；碰到右侧的行程开关后，小车开始向左运行；重复运行直到按下停止按钮。

（2）程序设计

首先进行地址分配，根据题目的要求，可以确定输入与输出，见表 7-10。

接下来就可以进行程序编写，这里仍然采用两种方法进行编程。

1）采用基本逻辑指令。因为小车的动作转换是根据位置信号完成的，因此这里根据行程开关发出的信号设计转换条件。



网络1　按下停止按钮，则停止运行
I0.1
I0.0
M0.0
M0.0
网络2　初始化扫描
SM0.1
S0.0
S
1
网络3
S0.0
SCR
网络4　按下起动按钮，则起动S0.1
I0.0
S0.1
SCRT
网络5
SCRE
网络6
S0.1
SCR
网络7　红灯亮，并启动定时器T37，同时黄灯灭
M0.0
Q0.1
Q0.0
S
1
Q0.2
R
1
网络8
Q0.0
T37
IN
TON
+100
PT
100ms
网络9　10s定时时间到，起动S0.2
Q0.0
T37
S0.2
SCRT
网络10
SCRE
网络11
S0.2
SCR
网络12　绿灯亮，并起动定时器T38，同时红灯灭
M0.1
Q0.0
S
1
Q0.0
R
1
网络13
Q0.1
T38
IN
TON
+10
PT
100ms
网络14　定时10s到，起动S0.3
Q0.1
T38
S0.3
SCRT
网络15
SCRE
网络16
S0.3
SCR
网络17　黄灯亮，并起动定时器T39，同时绿灯灭
M0.1
Q0.2
S
1
Q0.1
R
1
网络18
Q0.2
T39
IN
TON
+10
PT
100ms
网络19　定时时间到，若停止按钮未按下，则返回S0.1
T39
I0.1
S0.1
SCRT
网络20
SCRE

图 7-124　梯形图程序

```
网络1    按下停止按钮，则停止运行
LD      I0.1
O       M0.0
AN      I0.0
=       M0.0

网络2    初始化扫描
LD      SM0.1
S       S0.0 , 1

网络3
LSCR    S0.0

网络4    按下起动按钮，则起动S0.1
LD      I0.0
SCRT    S0.1

网络5
SCRE

网络6
LSCR    S0.1

网络7    红灯亮，并起动定时器T37，同时黄灯灭
LDN     M0.0
AN      Q0.1
S       Q0.0 , 1
R       Q0.2 , 1

网络8
LD      Q0.0
TON     T37,+100

网络9
LD      Q0.0
A       T37
SCRT    S0.2

网络10
SCRE

网络11
LSCR    S0.2

网络12   绿灯亮，并起动定时器T38，同时红灯灭
LDN     M0.1
S       Q0.1 , 1
R       Q0.0 , 1

网络13
LD      Q0.1
TON     T38 , +10

网络14   定时10s到，起动S0.3
LD      Q0.1
A       T38
SCRT    S0.3

网络15
SCRE

网络16
LSCR    S0.3

网络17   黄灯亮，并起动定时器T39，同时绿灯灭
LDN     M0.1
S       Q0.2 , 1
R       Q0.1 , 1

网络18
LD      Q0.2
TON     T39 , +10

网络19   定时时间到，若停止按钮未按下，则返回S0.1
LD      T39
AN      I0.1
SCRT    S0.1

网络20
SCRE
```

图 7-125　语句表程序

表 7-10　I/O 地址分配

输入信号		输出信号	
地　　址	功能说明	地　　址	功能说明
I0. 0	起动按钮	Q0. 0	左行输出
I0. 1	停止按钮	Q0. 1	右行输出

梯形图程序如图 7-126 所示。语句表程序如图 7-127 所示。

2）采用顺序控制指令。这里根据行程开关发出的信号作为每个状态的转移条件，当行程开关动作时，自动转移到下一状态。

梯形图程序如图 7-128 所示。语句表程序如图 7-129 所示。

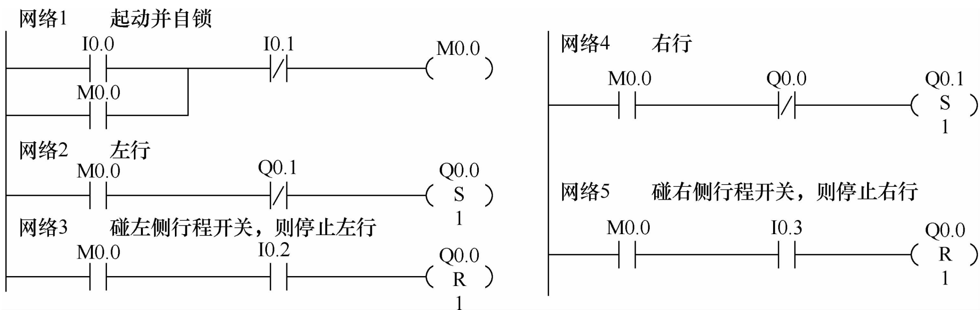
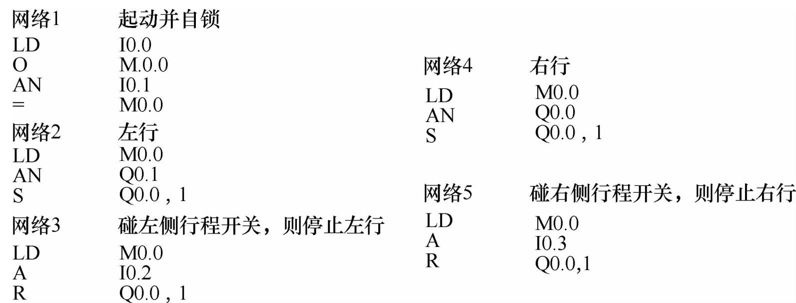


图 7-126　梯形图程序



```
网络1     起动并自锁
LD        I0.0
O         M.0.0
AN        I0.1
=         M0.0
网络2     左行
LD        M0.0
AN        Q0.1
S         Q0.0 , 1
网络3     碰左侧行程开关，则停止左行
LD        M0.0
A         I0.2
R         Q0.0 , 1
网络4     右行
LD        M0.0
AN        Q0.0
S         Q0.0 , 1
网络5     碰右侧行程开关，则停止右行
LD        M0.0
A         I0.3
R         Q0.0,1
```

图 7-127　语句表程序

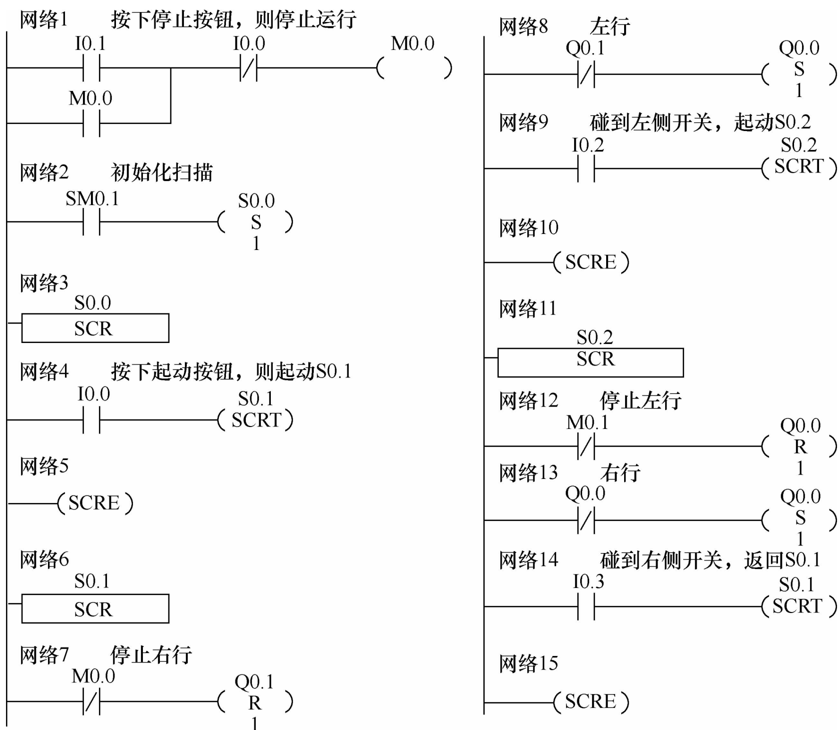


图 7-128　梯形图程序

```
网络1    按下停止按钮，则停止运行
LD       I0.1
O        M0.0
AN       I0.0
=        M0.0
网络2    初始化扫描
LD       SM0.1
S        S0.0，1
网络3
LSCR     S0.0
网络4    按下起动按钮，则起动S0.1
LD       I0.0
SCRT     S0.1
网络5
SCRE
网络6
LSCR     S0.1
网络7    停止右行
LDN      M0.0
R        Q0.1，1
网络8    左行
LDN      M0.1
S        Q0.0，1
网络9    碰到左侧开关，起动S0.2
LD       I0.2
SCRT     S0.2
网络10
SCRE
网络11
LSCR     S0.2
网络12   停止左行
LDN      M0.1
R        Q0.0，1
网络13   右行
LDN      Q0.0
S        Q0.1，1
网络14   碰到右侧行程开关，返回S0.1
LD       I.0.3
SCRT     S0.1
网络15
SCRE
```

图 7-129　语句表程序

7.4.5　音乐演奏程序设计

音乐演奏程序可运用 S7-200 CPU（DC/DC/DC）的脉冲输出功能演奏 WHISTLE（号笛）音乐。

实现 PLC 音乐演奏系统需要硬件和程序两大部分。

（1）硬件要求

1）SIMATIC S7-200CPU DC/DC/DC。

2）电源：AC115V/DC24V，0.9A（通常 300～400mA 就可以了）。

3）扬声器。

4）43053 电阻。

SIMATIC S7-200 的输出端 Q0.0 和 Q0.1 分别串联一只电阻（约为 430Ω，1/2W）与扬声器的一端相连，扬声器的另一端与公共输出端（1M）相连。SIMATIC S7-200 的电源输入端（1L+）接 +24V，各自的地线接在公共输出端（1M）上。

（2）程序设计

1）程序设计原理。WHISTLE（号笛）音乐程序使用 25 个半音阶音符。程序设计时用音符表，通道 0 的乐曲信息表和通道 1 的乐曲信息表分别存放音符及乐曲信息，如将从“A”（440 Hz）开始的 25 个半音阶音符的音符周期时间与之对应的脉冲数存放在音符表（表 1）中，表 2 和表 3 分别存放通道 0 和 1 的乐曲信息，每个乐曲信息由两个字节音符组

成，第 1 个字节是音符的参考号码（1～25），第 2 个字节是这个音符的时间单位数目（以 0. 125s 为 1 个时间单位）。为了使音调能持续 0. 125s 的频率发出，演奏时是两个音符同时进行，需将两个乐曲信息分别用脉冲通话 0 和通道 1 输出，并均被设置成脉冲序列输出（PTO），首先演奏每个通道的第 1 个音符，紧接着就请求第 2 个音符。这样就构成了深度为 1 的队列（1 个在进程中，1 个在队列中）。中断程序附着于 PTO 完成事件，第 1 个音符演奏完，中断程序调进下一个音符。这个过程继续下去，总是保持深度为 1 的队列，直到乐曲结束。

2）所用 PLC 内存单元。音乐演奏程序使用了放多的 PLC 内存单元，用于存储音符表、指针及乐曲表通道等，具体分工如下：

V4～V103	音符表
V500～V503	指向音符表的指针
V504～V507	指向通道 0 乐曲表的指针
V508～V511	临时的工作寄存器
V554～V557	指向通道 1 乐曲表的指针
V600～V743	通道 0 乐曲表
V800～V1059	通道 1 乐曲表

3）程序设计说明。音乐演奏程序由 1 个主程序、4 个子程序和 2 个中断程序组成。

主程序主要用于调用子程序，只在第 1 个扫描周期中执行，随着主菜单关闭，主程序运行随之结束，其梯形图及对应的语句表程序如图 7-130 所示。

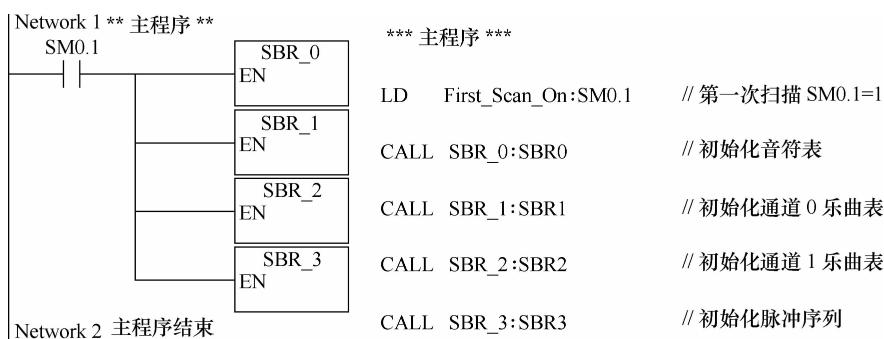


图 7-130 音乐演奏主程序

①子程序 0。初始化程序所使用的音符，用 MOVD 指令把用十六进制数表示的音符存于 S7-200 的内存中。音符的前 4 个字符码表征音符的频率，后 4 个字符码表示持续音调 0. 125s 所需的脉冲数。此外还初始化脉冲序列输出，用特殊标志字节 SMB67 定义输出端 Q0. 0 输出的方波特性，用 SMB77 定义输出端 Q0. 1 输出的方波特性，其梯形图及对应的语句表程序如图 7-131 所示。

②子程序 1。初始化通道 0 的乐曲表，演奏每个通道的第一个音符，通道 0 的音符参考号码和与之匹配的时间单价数被装入脉冲输出 0（PS 0）；同样的过程在通道 1 中进行（PLS 1）；因此能同时演奏两个音符。其梯形图及对应的语句表程序如图 7-132 所示。

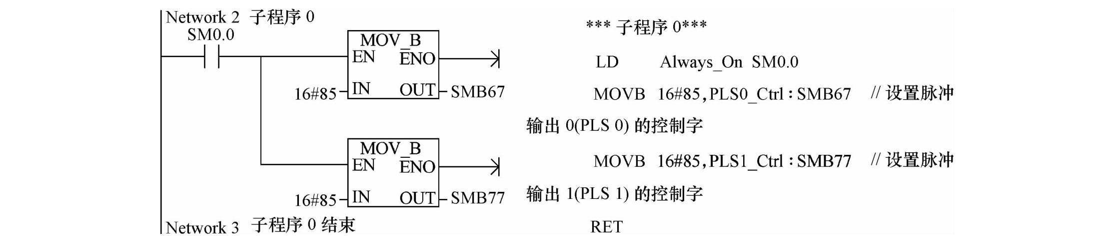


图 7-131　音乐演奏子程序 0（初始化程序）

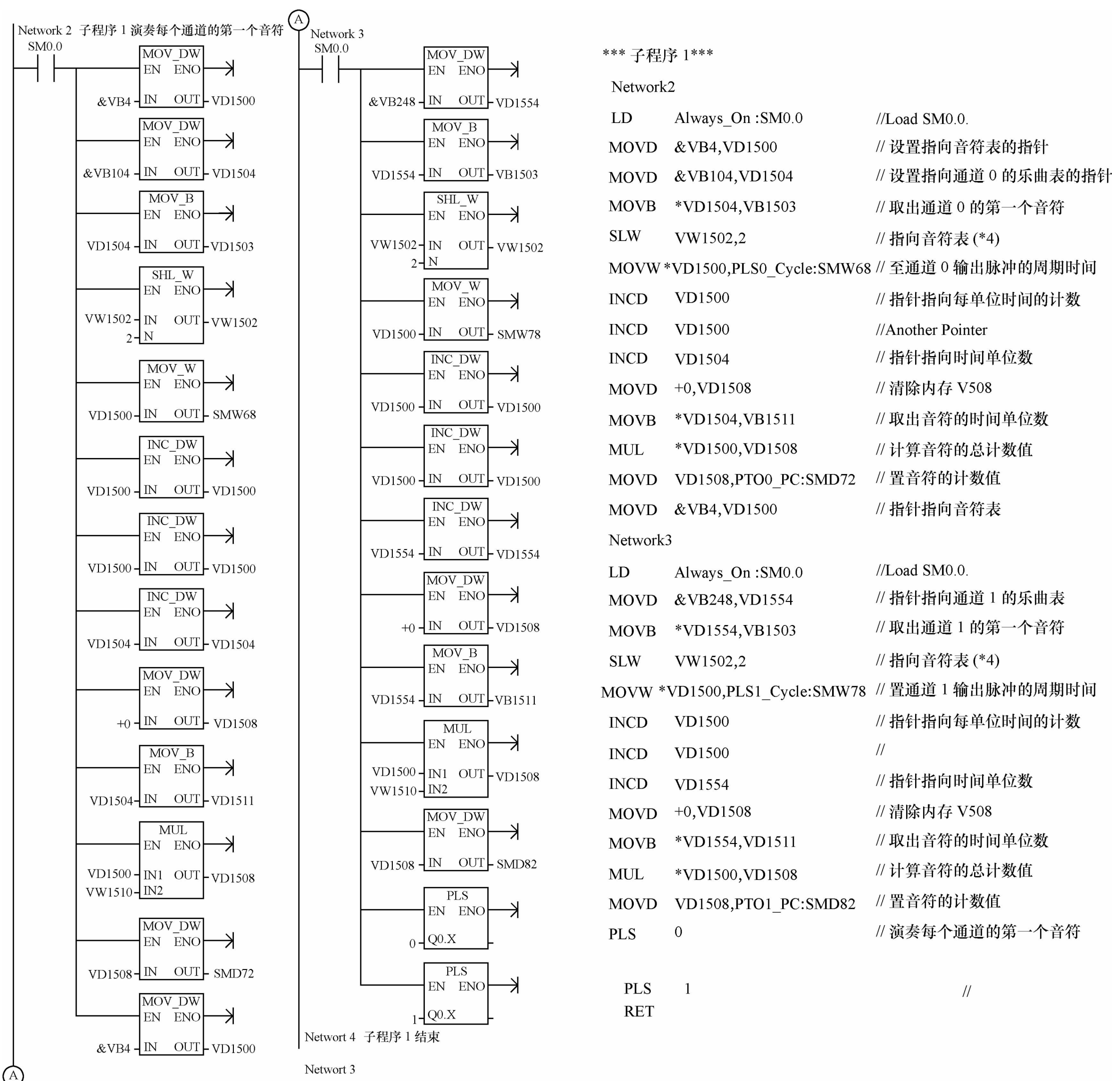


图 7-132　音乐演奏子程序 1（初始化通道 0 的乐曲表）

③子程序 2。初始化通道 1 的乐曲表，把每个通道的第 2 个音符排入队列，通道 0 的音符参考号码和与之匹配的时间单位数被装入脉冲输出 0（PLS 0）；同样的过程也在通道 1 中进行（PLS1），因此能同时演奏两个音符。其梯形图及对应的语句表程序如图 7-133 所示。



图 7-133　音乐演奏子程序 2（初始化通道 2 的乐曲表）

④子程序 3。起动中断程序，实现音乐的连续演奏。其梯形图及对应的语句表程序如图 7-134 所示。

⑤中断程序 0。演奏通道 0 的下一个音符，是脉冲输出 0（PLS 0）的脉冲计数。其中断事件 19，其梯形图及对应的语句表程序如图 7-135 所示。



图 7-134　音乐演奏子程序 3（起动中断程序）

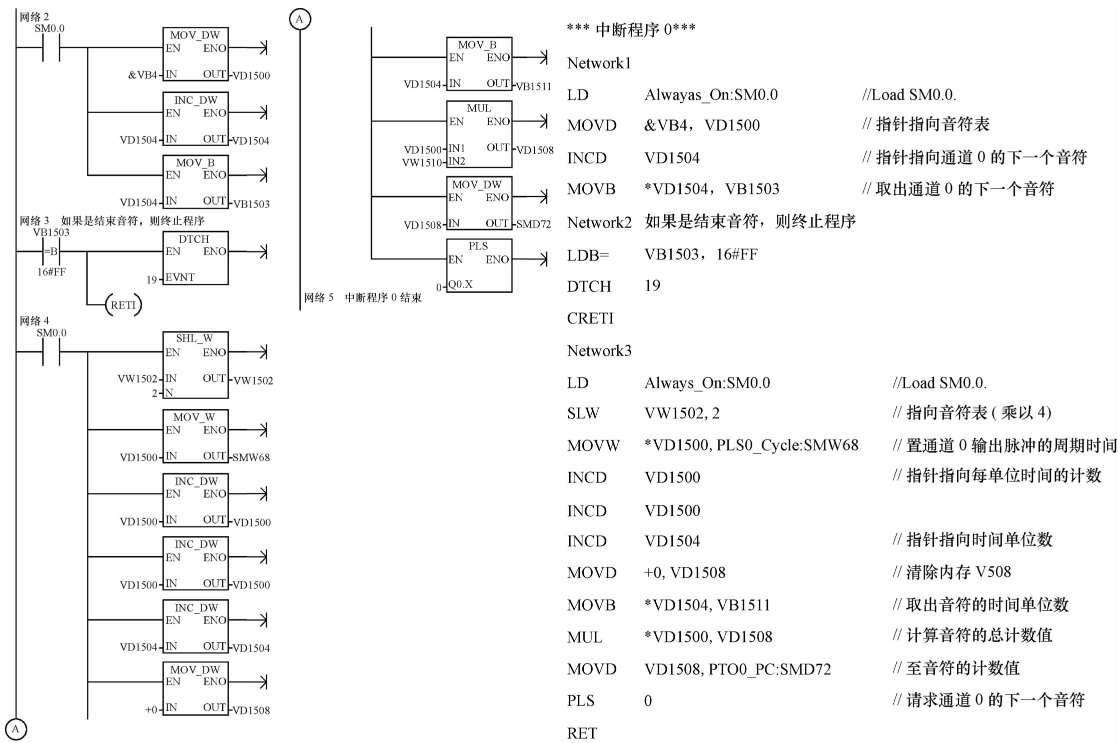


图 7-135　音乐演奏中断程序 0（演奏通道 0 的下一个音符）

⑥中断程序 1。脉冲输出 1（PLS 1）的脉冲计数，其中断事件 20，演奏完一个音符后中断发生，其梯形图及对应的语句表程序如图 7-136 所示。

该课题展示了利用 S7-200 DC/DC/DC 脉冲输出功能演奏音乐。程序设计大致思路是：首先，建立 25 个音符周期的音符表并初始化音符表；其次，初始化通道 0 和 1 乐曲表，然后初始化脉冲序列；最后，用队列中断程序附着于脉冲序列输出（PTO）完成事件，完成音符连续演奏。

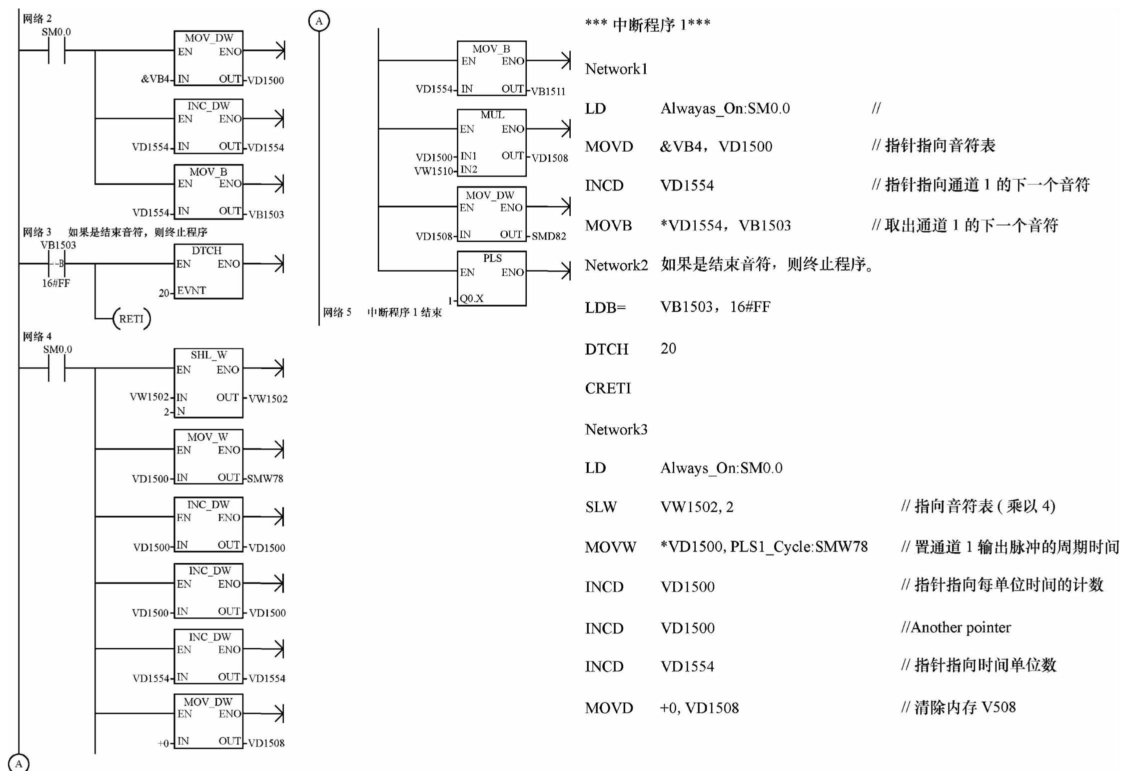


图 7-136　音乐演奏中断程序 1（脉冲输出 1 的脉冲计数）

本 章 小 结

人类认识自然是靠观察和实验来完成的。观察和实验是科学归纳的必要条件。牛顿指出“物体之属性只能由试验以知之。”德国教育家第斯多惠指出：“科学知识是不应该传授给学生的，而应当引导学生去发现它们，独立地掌握它们。”人类认识自然要靠观察和实验，人类传承自然科学知识也要靠观察和实验。电气控制与 PLC 应用技术是一种实践性很强的实用型高新技术，实验是必不可少的重要教学环节。

本章从生产实用的角度出发，详尽介绍了机床电气与 PLC 控制技术的实验、课程设计指导。从实验（课程设计）的目的、实验（课程设计）内容及实验（课程设计）设备、拟定实验（课程设计）电路、选择所需仪表、确定实验（课程设计）步骤、编写控制程序、测取所需数据、进行分析研究、得出必要结论、到完成实验（课程设计）报告等都作了必要的规范，力求能有效指导学生完成本课程重要的生产实践性学习环节，达到工学结合、学用一致、理论密切联系生产实际的教学效果。其宗旨就在于强化培养大学生分析和解决生产实际问题的工程实践能力，努力提高大学生的综合素质和生产实践技能，加速培养出国家紧缺急需的高素质高技能的未来蓝领人才，铸造未来的卓越工程师。

附　　录

附录 A　电气图常用图形符号和文字符号新/旧标准对照表

名称		新标准图形符号	新标准文字符号	旧标准图形符号	旧标准文字符号
一般三极电源开关			QK		K
低压断路器			QF		UZ
位置开关	常开触头		SQ		XK
	常闭触头				
	复合触头				
熔断器			FU		RD
按钮	起动		SB		AN
	停止				
	复合				

名称		新标准图形符号	新标准文字符号	旧标准图形符号	旧标准文字符号
接触器	线圈		KM		C
	主触头				
	常开辅助触头				
	常闭辅助触头				
速度继电器	常开触头		KS		SDJ
	常闭触头				
时间继电器	线圈		KT		SJ
	常开延时闭合触头				
	常闭延时打开触头				
	常闭延时闭合触头				
	常开延时打开触头				

（续）

名称		新标准		旧标准	
		图形符号	文字符号	图形符号	文字符号
热继电器	线圈		FR		RJ
	常闭触头				
继电器	中间继电器线圈		KA		ZJ
	欠电压继电器线圈	U<	KA		QYJ
	过电压继电器线圈	U>	KA		GYJ
	常开触头		相应继电器符号		相应继电器符号
	常闭触头				
	欠电流继电器线圈	I<	KI		QLJ
	过电流继电器线圈	I>	KI		GLJ
转换开关			SA		HK
制动电磁铁			YB		DT
电磁离合器			YC		CH

名称	新标准		旧标准	
	图形符号	文字符号	图形符号	文字符号
电位器		RP		W
桥式整流装置		UC		ZL
照明灯		EL		ZD
信号灯		HL		XD
电阻器		R		R
接插器		X		CZ
电磁铁		YA		DT
电磁吸盘		YH		DX
串励直流电动机	M	M		ZD
并励直流电动机	M			
他励直流电动机	M			
复励直流电动机	M			

（续）

名称	新标准		旧标准	
	图形符号	文字符号	图形符号	文字符号
直流发电机		G		ZF
三相笼型异步电动机		M		D
三相绕线转子异步电动机		M		D
单相变压器		T		B
整流变压器		T		ZLB
照明变压器		T		ZB
隔离变压器		TC		B

名称	新标准		旧标准	
	图形符号	文字符号	图形符号	文字符号
三相自耦变压器		T		ZOB
半导体二极管		V		D
PNP 型三极管		V		T
NPN 型三极管		V		T
晶闸管		V		SCR

附录 B　S7-200 系列 PLC 的系统配置

描　　述	CPU221	CPU222	CPU224	CPU226	CPU226XM
用户程序大小	2KB	2KB	4KB	4KB	8KB
用户数据大小	1KB	1KB	2. 5KB	2. 5KB	5KB
输入映像寄存器	I0. 0 ~ I15. 7	I0. 1 ~ I15. 7	I0. 0 ~ I15. 7	I0. 0 ~ I15. 7	I0. 0 ~ I15. 7
输出映像寄存器	Q0. 0 ~ Q15. 7	Q0. 0 ~ Q15. 7	Q0. 0 ~ Q15. 7	I0. 0 ~ I15. 7	Q0. 0 ~ Q15. 7
模拟量输入（只读）	—	AIW0 ~ AIW30	AIW0 ~ AIW62	AIW0 ~ AIW62	AIW0 ~ AIW62
模拟量输出（只写）	—	AQW0 ~ AQW30	AQW0 ~ AQW62	AQW0 ~ AQW62	AQW0 ~ AQW62
变量存储器（V）	VB0 ~ VB2047	VB0 ~ VB2047	VB0 ~ VB5119	VB0 ~ VB5119	VB0 ~ VB10239
局部存储器（L）	LB0 ~ LB63	LB0 ~ LB63	LB0 ~ LB63	LB0 ~ LB63	LB0 ~ LB63
位存储器（M）	M0. 0 ~ M31. 7	M0. 0 ~ M31. 7	M0. 0 ~ M31. 7	M0. 0 ~ M31. 7	M0. 0 ~ M31. 7
特殊存储器（SM） 只读定时器	SM0. 0 ~ SM179. 7 SM0. 0 ~ SM29. 7	SM0. 0 ~ SM299. 7 SM0. 0 ~ SM29. 7	SM0. 0 ~ SM549. 7 SM0. 0 ~ SM29. 7	SM0. 0 ~ SM549. 7 SM0. 0 ~ SM29. 7	SM0. 0 ~ SM549. 7 SM0. 0 ~ SM29. 7

（续）

描　　述	CPU221	CPU222	CPU224	CPU226	CPU226XM
有记忆接通延迟 1ms	256(T0 ~ T255)	256(T0 ~ T255)	256(T0 ~ T255)	256(T0 ~ T255)	256(T0 ~ T255)
有记忆接通延迟 10ms	T0、T64	T0、T64	T0、T64	T0、T64	T0、T64
有记忆接通延迟 100ms	T1 ~ T4、T65 ~ T68 T5 ~ T31、T69 ~ T95	T1 ~ T4、T65 ~ T68 T5 ~ T31、T69 ~ T95	T1 ~ T4、T65 ~ T68 T5 ~ T31、T69 ~ T95	T1 ~ T4、T64 ~ T68 T5 ~ T31、T69 ~ T95	T1 ~ T4、T65 ~ T68 T5 ~ T31、T69 ~ T95
接通/关断延迟 1ms	T32、T96	T32、T96	T32、T96	T32、T96	T32、T96
接通/关断 延迟 10ms	T33 ~ T36 T97 ~ T100	T33 ~ T36 T97 ~ T100	T33 ~ T36 T97 ~ T100	T33 ~ T36 T97 ~ T100	T33 ~ T36 T97 ~ T100
接通/关断 延迟 100ms	T37 ~ T63 T101 ~ T225	T37 ~ T63 T101 ~ T225	T37 ~ T63 T101 ~ T225	T37 ~ T63 T101 ~ T225	T37 ~ T63 T101 ~ T225
计时器	C0 ~ C255	C0 ~ C255	C0 ~ C255	C0 ~ C255	C0 ~ C255
高速计数器	HC0、HC3、HC4、HC5、HC0、 HC3、HC4、HC5		HC0 ~ HC5	HC0 ~ HC5	HC0 ~ HC5
顺序控制继电器(S)	S0.0 ~ S31.7	S0.0 ~ S31.7	S0.0 ~ S31.7	S0.0 ~ S31.7	S0.0 ~ S31.7
累加寄存器	AC0 ~ AC3	AC0 ~ AC3	AC0 ~ AC3	AC0 ~ AC3	AC0 ~ AC3
跳转/标号	0 ~ 255	0 ~ 255	0 ~ 255	0 ~ 255	0 ~ 255
调用子程序	0 ~ 63	0 ~ 63	0 ~ 63	0 ~ 63	0 ~ 63
中继程序	0 ~ 127	0 ~ 127	0 ~ 127	0 ~ 127	0 ~ 127
正/负跳转	256	256	256	256	256
PID 回路	0 ~ 7	0 ~ 7	0 ~ 7	0 ~ 7	0 ~ 7
端口	端口 0	端口 0	端口 0	端口 0	端口 0

附录 C　S7-200 系列 PLC 的常用指令

表 C-1　S7-200 系列 PLC 触点指令

指　　令			梯形图符号	数据类型	操作数	指 令 功 能
标准触点	动合	LD bit	├─┤ ├Bit─	BOOL	I、Q、V、M、SM、S、T、C、L、能流	装载，动合触点与左侧母线相连；由动合触点开始的逻辑行或梯级
		A bit	Bit┤ ├──			与，动合触点与其他程序段相串联
		O bit	Bit┤ ├─┘			或，动合触点与其他程序段相并联
	动断	LDN bit	├Bit┤/├──			非装载，动断触点与左侧母线相连接。由动断触点开始的逻辑行或梯级
		AN bit	Bit┤/├──			非与动断触点与其他程序段相串联
		ON bit	Bit┤/├─┘			非或动断触点与其他程序段相并联

（续）

指令			梯形图符号	数据类型	操作数	指令功能
立即触点	动合	LDI bit	├─┤I├ Bit	BOOL	I	立即半载，动合立即触点与左侧母线相连接。由动合立即触点开始的逻辑行或梯级
立即触点	动合	AI bit	Bit ─┤I├─	BOOL	I	立即与，动合立即触点与其他程序段相串联
立即触点	动合	OI bit	Bit ─┤I├─┘	BOOL	I	立即或，动合立即触点与其他程序段相并联
立即触点	动断	LDNI bit	├─┤/I├ Bit	BOOL	I	立即非装载，动断立即触点与左侧母线相连接。由动断立即触点开始的逻辑行或梯级
立即触点	动断	ANI bit	─┤/I├ Bit	BOOL	I	立即非与，动断立即触点与其他程序段相串联
立即触点	动断	ONI bit	Bit ─┤/I├─┘	BOOL	I	立即非或，动断立即触点与其他程序段相并联
取反		NOT bit	─┤NOT├─	BOOL	—	取反，改变能流输入的状态
正负跳变	正	EU bit	─┤P├─	BOOL	—	检测到一次正跳变，能流接通一个扫描周期
正负跳变	负	ED bit	─┤N├─	BOOL	—	检测到一次负跳变，能流接通一个扫描周期

表 C-2　S7-200 系列 PLC 线圈指令

指令		梯形图符号	数据类型	操作数	指令功能
输出	=	─(Bit)	位：BOOL	Q、V、M、SM、S、T、C、L	将运算结果输出到某个继电器
立即输出	=I	─(Bit I)	位：BOOL	Q	立即将运算结果输出到某个继电器
置位与复位	S	─(Bit S N)	位：BOOL N：BYTE	位：I、Q、V、M、SM、S、T、C、L N：IB、QB、VB、SMB、SB、LB、AC、*VD、*LD、*AC、常数	将从指定地址开始的 N 个点置位
置位与复位	R	─(Bit R N)	位：BOOL N：BYTE	位：I、Q、V、M、SM、S、T、C、L N：IB、QB、VB、SMB、SB、LB、AC、*VD、*LD、*AC、常数	将从指定地址开始的 N 个点复位
立即置位与立即复位	SI	─(Bit SI N)	位：BOOL N：BYTE	位：I、Q、V、M、SM、S、T、C、L N：IB、QB、VB、SMB、SB、LB、AC、*VD、*LD、*AC、常数	立即将从指定地址开始的 N 个点置位
立即置位与立即复位	RI	─(Bit RI N)	位：BOOL N：BYTE	位：I、Q、V、M、SM、S、T、C、L N：IB、QB、VB、SMB、SB、LB、AC、*VD、*LD、*AC、常数	立即将从指定地址开始的 N 个点复位

注：带“*”的存储单元具有变址功能。

表 C-3　定时器指令

	接通延时定时器	有记忆接通延时定时器	断开延时定时器
指令的表达形式	TON T × × ,PT T×× IN　TON PT	TONR T × × ,PT T×× IN　TONR PT	TOF T × × ,PT T×× IN　TOF PT
操作数的范围及类型	T × × ：（WORD） 常数 T0 ~ T255 IN：（BOOL） I、Q、V、M、SM、S、T、C、L、能流 PT：（INT） IW、QW、VW、MW、 SMW、T、C、LW、AC、AIW、＊VD、＊LD、＊AC、常数		

表 C-4　计数器指令

	加计数器指令	减计数器指令	加减计数器指令
指令的表达形式	CTU C × × ,PV C×× CU　CTU R PV	CTD C × × ,PV C×× CD　CTD LD PV	CTUD C × × ,PV C×× CU　CTUD CD R PV
操作数的范围及类型	C × × ：（WORD） 常数 C0 ~ C255 CU、CD、LD、R（BOOL） I、Q、V、M、SM、S、T、C、L、能流 PV：（INT） IW、QW、VW、MW、 SMW、T、C、LW、AC、AIW、＊VD、＊LD、＊AC、常数		

表 C-5　整数加法和整数减法指令

指令的表达形式	操作数的含义及范围	指令功能及指令对标志位的影响
+I IN1、IN2 ADD_I EN　ENO IN1　OUT IN2 –I IN1、IN2 SUB_I EN　ENO IN1　OUT IN2	IN1、IN2：IW、QW、VW、MW、SMW、SW、T、C、LW、AC、AIW、＊VD、＊AC、＊LD 常数 OUT：IW、QW、VW、MW、SMW、SW、LW、T、C、AC、＊VD、＊AC、＊LD 在 LAD 中：IN1 + INW = OUT IN1 – IN2 = OUT 在 STL 中：IN1 + OUT = OUT OUT – IN1 = OUT	整数的加法和减法指令把两个 16 位整数相加或相减，产生一个 16 位结果（OUT） 这些指令影响下面的特殊存储器位：SM1. 0（零）；SM1. 1（溢出）；SM1. 2（负）

表 C-6　数值比较指令

触点基本类型	从母线取用比较触点	串联比较触点	并联比较触点
（以字节比较为例） —┤==B├— —┤<>B├— —┤>=B├— —┤<=B├— —┤>B├— —┤<B├—	LDB = =IN1，IN2 IN1 ├──┤==B├── IN2	LD　Bit AB = = IN1.IN2 N　IN1 ├┤　┤==B├── IN2	LD　Bit OB = =IN1,IN2 N IN1 ==B IN2
	LDB =，LDB < LDB >，LDB < > LDB < =，LDB > =	AB =，AB < AB >，AB < > AB < =，AB > =	OB =，OB < OB >，OB < > OB < =，OB > =

（续）

触点基本类型	从母线取用比较触点	串联比较触点	并联比较触点
操作数的含义及范围	IN1、IN2：（BYTE）IB、QB、VB、MB、SMB、SB、LB、AC、＊VD、＊LD、＊AC、常数 IN1、IN2：（INT）VW、IW、QW、MW、SW、SMW、LW、AIW、T、C、AC、＊VD、＊AC、＊LD、常数 IN1、IN2：（DINT）ID、QD、VD、MD、SMD、SD、LD、AC、＊VD、＊LD、＊AC、HC、常数 IN1、IN2：（REAL）ID、QD、VD、MD、SMD、SD、LD、AC、＊VD、＊LD、＊AC、常数 OUT：（BOOL）I、Q、V、M、SM、S、T、C、L、能流		

表 C-7　字节、字、双字、实数传送指令

传送方式	字节传送	字传送	双字传送	实数传送
指令的表达形式	MOV_B IN,OUT MOV_B EN ENO IN OUT	MOV_W IN,OUT MOV_W EN ENO IN OUT	MOV_DW IN,OUT MOV_DW EN ENO IN OUT	MOV_R IN,OUT MOV_R EN ENO IN OUT
操作数的含义及范围	IN：IB、QB、VB、MB、SMB、SB、LB、AC、＊VD、＊AC、＊LD、常数 OUT：QB、VB、MB、SMB、SB、LB、AC、＊VD、＊AC、＊LD	IN：IW、QW、VW、MW、SMW、SW、T、C、LW、AIW、AC、＊VD、＊AC、＊LD、常数 OUT：IW、QW、VW、MW、SW、SMW、T、C、LW、AC、AQW、＊VD、＊AC、＊LD	IN：ID、QD、VD、MD、SMD、SD、LD、AC、HC、&IB、&QB、&MB、&SB、&T、&C、＊VD、＊AC、＊LD、常数 OUT：VD、ID、QD、MD、SMD、SD、LD、AC、＊VD、＊AC、＊LD	IN：VD、ID、QD、MD、SD、SMD、LD、AC、常数、＊VD、＊AC、＊LD OUT：VD、ID、QD、MD、SD、SMD、LD、AC、＊VD、＊AC、＊LD

注：标有“&”的存储单元为指针。

表 C-8　字节、字、双字左移和右移指令

项　目	指令的表达形式	操作数含义及范围		
字节右移指令 字节左移指令	SHR_B EN ENO IN OUT N SRB OUT.N SHL_B EN ENO IN OUT N SLB OUT.N	输入/输出	类型	操作数范围
		IN	BYTE	IB、QB、VB、MB、SMB、SB、LB、AC、＊VD、＊LD、＊AC、常数
		OUT	BYTE	IB、QB、VB、MB、SMB、SB、LB、AC、＊VD、＊AC、＊LD

（续）

项　　目	指令的表达形式	操作数含义及范围		
字右移指令	SHB_W EN ENO IN OUT N SRW OUT.N	输入/输出	类型	操作数范围
		IN	WORD	IW、QW、VW、MW、SMW、SW、LW、T、C、AC、AIW、＊VD、＊LD、＊AC、常数
字左移指令	SHL_W EN ENO IN OUT N SLW OUT.N	OUT	WORD	IW、QW、VW、MW、SMW、SW、T、C、LW、AC、＊VD、＊AC、＊LD
双字右移指令	SHR_DW EN ENO IN OUT N SRD OUT.N	输入/输出	类型	操作数范围
		INT	KWORD	ID、QD、VD、MD、SMD、SD、LD、AC、HC、＊VD、＊LD、＊AC、常数
双字左移指令	SHL_DW EN ENO IN OUT N SLD OUT.N	OUT	DWORD	ID、QD、VD、MD、SMD、SD、LD、AC、＊VD、＊LD、＊AC

表 C-9　字节、字、双字循环移位指令

项　　目	指令的表达形式	操作数含义及范围		
		输入/输出	类型	操作数范围
字节循环右移	ROR_B EN ENO IN OUT N RRB OUT.N	IN	BYTE	IB、QB、VB、MB、SMB、SB、LB、AC、＊VD、＊LD、＊AC、常数
		OUT	BYTE	IB、QB、VB、MB、SMB、SB、LB、AC、＊VD、＊AC、＊LD
字节循环左移	ROL_B EN ENO IN OUT N RLB OUT.N	N	BYTE	IB、QB、VB、MB、SMB、SB、LB、AC、＊VD、＊LD、＊AC、常数
		输入/输出	类型	操作数范围
字右循环移	ROR_W EN ENO IN OUT N RRW OUT.N	IN	WORD	IW、QW、VW、MW、SMW、SW、LW、T、C、AC、AIW、＊VD、＊LD、＊AC、常数
		OUT	WORD	IW、QW、VW、MW、SMW、SW、T、C、LW、AC、＊VD、＊AC、＊LD
字左循环移	ROL_W EN ENO IN OUT N RLW OUT.N	N	BYTE	IB、QB、VB、MB、SMB、SB、LB、AC、＊VD、＊LD、＊AC、常数

（续）

项　目	指令的表达形式	操作数含义及范围		
		输入/输出	类型	操作数范围
双字循环右移	ROR_DW EN ENO IN OUT N RRD OUT.N	INT	DWORD	ID、QD、VD、MD、SMD、SD、LD、AC、HC、＊VD、＊LD、＊AC、常数
		OUT	DWORD	ID、QD、VD、MD、SMD、SD、LD、AC、＊VD、＊LD、＊AC
双字循环左移	ROL_DW EN ENO IN OUT N RLD OUT.N	N	BYTE	IB、QB、VB、MB、SMB、SB、LB、AC、＊VD、＊LD、＊AC、常数

表 C-10　移位寄存器指令

项　目	指令的表达形式	操作数含义及范围		
		输入/输出	类型	操作数范围
移位寄存器指令	SHRB EN ENO DATA S_BIT N SHR B DATA,S-BIT.N	DATA，S-BIT	BOOL	I、Q、V、M、SM、S、T、C、L
		N	BYTE	IR、QB、VB、MB、SMB、SB、LB、AC、＊VD、＊LD、＊AC、常数

表 C-11　跳转及标号指令

指令的表达形式		操作数的含义及范围
跳转指令 JMP N N ——(JMP)	**标号指令** LBL N N LBL	N：WORD 常数 0～255

表 C-12　子程序指令

指令的表达形式		数据类型及操作数
子程序调用指令: CALL SBR-N SBR-N EN	**子程序条件返回指令:** CRET ——(RET)	N：WORD 常数 CPU221、CPU222、CPU224、CPU226：0～63 CPU226XM：0～127

附录 D　常用的部分特殊标志位存储器 SM

SM 位	功　能
SM0. 0	该位始终为 1
SM0. 1	该位在首次扫描时为 1，可用于调初始化子程序
SM0. 2	若保持数据丢失，则该位在一个扫描周期中为 1，该位可用做错误存储器位，或用来调用特殊起动顺序功能

（续）

SM 位	功　　能
SM0.3	开机后进入 RUN 方式，该位将 ON 一个扫描周期。该位可用做在起动操作之前给设备提供一个预热时间
SM0.4	该位提供了一个高低电平各为 30s、周期为 1min 的时钟脉冲
SM0.5	该位提供了一个高低电平各为 0.5s、周期为 1s 的时钟脉冲
SM0.6	该位为扫描时钟，本次扫描时置 1，下次扫描置 0。可用做扫描计数器的输入
SM0.7	该位指示 CPU 工作方式开关的位置（0 为 TERM 位置，1 为 RUN 位置）。当开关在 RUN 位置时，用该位可使自由端口通信方式有效，当切换至 TERM 位置时，CPU 可以与编程设备正常通信
SM1.0	零标志，当执行某些指令的结果为 0 时，将该位置 1
SM1.1	错误标志，当执行某些指令的结果溢出或检测到非法数据时，将该位置 1
SM1.2	负数标志，当执行数学运算，其结果为负数时，将该位置 1
SM1.3	试图除以零时，将该位置 1
SM1.4	当执行 A'IT（Add to Table）指令时，试图超出表范围时，将该位置 1
SM1.5	当执行 LIFO 或 FIFO 指令时，试图从空表中读数时，将该位置 1
SM1.6	当试图把一个非 BCD 数转换为二进制数时，将该位置 1
SM1.7	当 ASCⅡ码不能转换为有效的十六进制数时，将该位置 1

注：其他特殊存储器标志位可参见 S7-200 系统手册。

参 考 文 献

［1］ 高安邦，石磊，张晓辉．西门子 S7-200/300/400 系列 PLC 自学手册［M］．北京：中国电力出版社，2012.

［2］ 高安邦，石磊，张晓辉．德国西门子 S7-200 PLC 版机床电气与 PLC 控制技术理实一体化教程［M］．北京：机械工业出版社，2012.

［3］ 高安邦，田敏，俞宁，等．德国西门子 S7-200 PLC 工程应用设计［M］．北京：机械工业出版社，2011.

［4］ 高安邦，薛岚，刘晓艳，等．三菱 PLC 工程应用设计［M］．北京：机械工业出版社，2011.

［5］ 高安邦，田敏，等．机电一体化系统设计实用案例精选［M］．北京：中国电力出版社，2010.

［6］ 隋秀凛，高安邦．实用机床设计手册［M］．北京：机械工业出版社，2010.

［7］ 高安邦，陈银燕，等．机床电气与 PLC 控制技术项目教程［M］．北京：机械工业出版社，2010.

［8］ 高安邦，杨帅，陈俊生．LonWorks 技术原理与应用［M］．北京：机械工业出版社，2009.

［9］ 高安邦，孙社文，单洪，等．LonWorks 技术开发和应用［M］．北京：机械工业出版社，2009.

［10］ 高安邦，等．机电一体化系统设计实例精解［M］．北京：机械工业出版社，2008.

［11］ 高安邦，智淑亚，徐建俊．新编机床电气与 PLC 控制技术［M］．北京：机械工业出版社，2008.

［12］ 高安邦，等．机电一体化系统设计禁忌［M］．北京：机械工业出版社，2008.

［13］ 高安邦．典型电线电缆设备电气控制［M］．北京：机械工业出版社，1996.

［14］ 张海根，高安邦．机电传动控制［M］．北京：高等教育出版社，2001.

［15］ 朱伯欣．德国电气技术［M］．上海：上海科学技术文献出版社，1992.

［16］ 朱立义．冷冲压工艺与模具设计［M］．重庆：重庆大学出版社，2006.

［17］ 张立勋．电气传动与调速系统［M］．北京：中央广播电视大学出版社，2005.

［18］ 翟红程，俞宁．西门子 S7-200 应用教程［M］．北京：机械工业出版社，2007.

［19］ 徐建俊．电机与电气控制项目教程［M］．北京：机械工业出版社，2008.

［20］ 徐建俊．电机与电气控制［M］．北京：清华大学出版社，2004.

［21］ 徐建俊．电工考工实训教程［M］．北京：北京交通大学出版社，2005.

［22］ 郑凤翼．图解西门子 S7-200 系列 PLC88 例［M］．北京：电子工业出版社，2009。

［23］ 史宜巧，等．PLC 技术与应用［M］．北京：机械工业出版社，2009.

［24］ 周建清．机床电气控制（项目式教学）［M］．北京：机械工业出版社，2008.

［25］ 王芹，藤今朝．可编程控制器技术与应用（西门子 S7-200 系列）［M］．天津：天津大学出版社，2008.

［26］ 廖常初．S7-200 PLC 基础教程［M］．2 版．北京：机械工业出版社，2009.

［27］ 廖常初．PLC 编程及应用［M］．3 版．北京：机械工业出版社，2009.

［28］ 姜建芳．西门子 S7-200 PLC 工程应用技术教程［M］．北京：机械工业出版社，2010.

［29］ 常斗南．PLC 运动控制实例及解析（西门子）［M］．北京：机械工业出版社，2010.

［30］ 孙承志，等．西门子 S7-200/300/400 PLC 基础与应用技术［M］．北京：机械工业出版社，2009.

［31］ 杨后川，等．西门子 S7-200 PLC 应用 100 例［M］．北京：电子工业出版社，2009.

［32］ 李艳杰，等．S7-200 PLC 原理与实用开发指南［M］．北京：机械工业出版社，2009.

［33］ 刘华波，等．西门子 S7-200 PLC 编程应用案例精选拔［M］．北京：机械工业出版社，2009.

［34］ 向晓汉．西门子 PLC 高级应用实例精解［M］．北京：机械工业出版社，2010.

［35］ 严盈富，罗海平，吴海勤．监控组态软件与 PLC 入门［M］．北京：人民邮电出版社，2006.

［36］ 湖北高职“十一五”规划教材《可编程控制器应用技术》研制组．可编程控制器应用技术［M］．武汉：武汉科技大学出版社，2006.

[37] 吴志敏、阳胜峰. 西门子 PLC 与变频器、触摸屏综合应用教程 [M]. 北京：中国电力出版社，2009.
[38] 罗宇航. 流行 PLC 实用程序及设计（西门子 S7-200 系列）[M]. 西安：西安电子科技大学出版社，2006.
[39] 李晓宁. 例说西门子 PLC S7-200 [M]. 成都：电子科技大学出版社，2008.
[40] 西门子（中国）有限公司自动化与驱动集团. SIMATIC S7-200 可编程控制器系统手册. [OL]. 2004.
[41] 西门子（中国）有限公司自动化与驱动集团. SIMATIC S7-200CN 选型手册. [OL]. 2006.
[42] 西门子（中国）有限公司自动化与驱动集团. SIMATIC S7-200 系列产品外形图. [OL]. 2007.
[43] 西门子（中国）有限公司自动化与驱动集团. SIEMENS AG 定位模板快速入门. [OL]. 2005.
[44] 西门子（中国）有限公司自动化与驱动集团. SIEMENS AG SIMATIC Panels 致力于满足于您的各种需求产品样本. [OL]. 2008.
[45] 西门子（中国）有限公司自动化与驱动集团. SIEMENS AG WinCC flexible 2007 压缩版/标准版/高级版用户手册. [OL]. 2007.
[46] 西门子（中国）有限公司自动化与驱动集团. SIEMENS AG WinCC flexible 2007 移植用户手册. [OL]. 2007.
[47] 西门子（中国）有限公司自动化与驱动集团. SIEMENS AG WinCC flexible 2007 Runtime 用户手册. [OL]. 2007.
[48] 西门子（中国）有限公司自动化与驱动集团. SIEMENS AG STEP7 V5.4 编程参考手册. [OL]. 2006.
[49] 西门子（中国）有限公司自动化与驱动集团. SIEMENS AG S7-200CN 可编程控制器产品样本. [OL]. 2008.
[50] 西门子（中国）有限公司自动化与驱动集团. SIEMENS AG S7-200CN 可编程控制器系统手册. [OL]. 2007.
[51] 求是科技. PLC 应用开发技术与工程实践 [M]. 北京：人民邮电出版社，2005.
[52] 尹昭辉，姜福祥，高安邦. 数控机床的机电一体化改造设计 [J]. 电脑学习，2006（4）：8-10.
[53] 高安邦，杜新芳，高云. 全自动钢管表面除锈机 PLC 控制系统 [J]. 电脑学习，1998（5）：9-11.
[54] 邵俊鹏，高安邦，司俊山. 钢坯高压水除鳞设备自动检测及 PLC 控制系统 [J]. 电脑学习，1998（3）：6-8.
[55] 赵莉，高安邦. 全自动集成式燃油锅炉燃烧器的研制 [J]. 电脑学习，1998（2）：6-8.
[56] 马春山，智淑亚，高安邦. 现代化高速话缆绝缘线芯生产线的电控（PLC）系统设计 [J]. 基础自动化，1996（4）：6-10，19.
[57] 高安邦，崔永焕，崔勇. 同位素分装机 PLC 控制系统 [J]. 电脑学习，1995（4）：7-10.

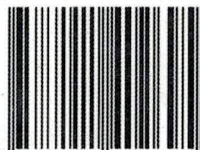
内容简介

本书根据教育部“卓越工程师培养计划”的要求，从凸现行业指导、校企合作、工学结合、学用一致，理论密切联系生产实际、“教、学、做”一体化的现代教学特色，注重对大学生进行素质和技能培养与提高，以西门子的S7—200 PLC为对象，详尽介绍了电气控制与PLC应用技术。全书共分7章：第1章电气控制常用的低压电器；第2章电气传动控制中最常用的三相交流异步电动机；第3章传统电气控制的基本环节与典型电路；第4章现代电气控制中的PLC应用技术；第5章典型生产设备电气和PLC控制系统分析；第6章生产设备的电气和PLC控制系统设计；第7章电气与PLC控制实验与课程设计指导。

本书可作为普通高等院校电气自动化、电气工程、信息工程、机械设计制造及自动化专业等相关专业本、专科教材，也可作为各类培训班和工程技术人员的培训用书。

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术/电气工程
ISBN 978-7-111-40269-5
策划编辑◎时静
封面设计◎刘吉维

ISBN 978-7-111-40269-5


定价：69.90元